

Relationes Annuae Instituti Geologici Publici Hungarici

A Magyar Állami Földtani Intézet

Évi Jelentése

---

2010

---

Annual Report

of the Geological Institute of Hungary



Budapest, 2012

© Copyright Magyar Állami Földtani Intézet (Geological Institute of Hungary), 2010  
Minden jog fenntartva! All rights reserved!

*Lektorok — Reviewers:*

BÁCSKAY ERZSÉBET, BREZSNYÁNSZKY KÁROLY, BUGA LÁSZLÓ, FÖLDESSY JÁNOS, HÁLA JÓZSEF, HERNÁNDEZ SILVA, GILBERTO,  
JÁMBOR ÁRON, JORDÁN GYŐZŐ, PELIKÁN PÁL, SCHAREK PÉTER, SIMON SZILVIA, SZABÓ SZILÁRD, SZŐCS TEODÓRA, T. BIRÓ KATALIN

*Szakszerkesztő — Scientific editor:*

PIROS OLGA

*Műszaki szerkesztő — Technical editor:*

PIROS OLGA

*Számítógépes nyomdai előkészítés — DTP:*

PIROS OLGA

*Borítóterv — Cover design:*

SIMONYI DEZSŐ



Kiadja a Magyar Állami Földtani Intézet — Published by the Geological Institute of Hungary

*Felelős kiadó — Responsible editor:*

FANCSIK TAMÁS

*Igazgató — Director*

HU ISSN 0368–9751

## Tartalom — Contents

### Működési jelentés

FANCSIK T.: Igazgatói előszó. . . . .	7
CHIKÁN G.: Működési jelentés. . . . .	9



### Szakkikkek — Scientific publications

THAMÓNÉ BOZSÓ E., CSILLAG G., KÁKAY-SZABÓ O., KÓNYA P., KIRÁLY E., MÜLLER P. M.: Szél által polírozott pleisztocén kőzetfelszínek vizsgálati eredményei a Dunántúli-középhegységből. — <i>Study of Pleistocene wind polished rock surfaces in the Transdanubian Range.</i> . . . . .	41
BUDAI T., HAAS J., PIROS O.: A Pilis-vonulat triász képződményeinek földtani kutatása — beszámoló a 68224 számú OTKA projekt eredményeiről. — <i>Geological investigations of the Pilis Range.</i> . . . . .	55
POYANMEHR, Z., TÓTH GY.: A budapesti karsztos hévizek potenciál- és nyomásviszonyainak értékelése. — <i>Evaluation of the potential and pressure field of the thermal karst waters of Budapest.</i> . . . . .	63
KERCSMÁR ZS.: A „henger alakú kőzetminták”-tól az Országos Magminta Gyűjteményig és tovább. A Magyar Állami Földtani Intézet fúrási magmintagyűjteményének kutatástörténeti jelentősége. — <i>From “cylindrical rock samples” to a National Core Collection and looking ahead. History of the drilling core collection of Geological Institute of Hungary and its importance.</i> . . . . .	71
PENTELENYI A., SÍKHEGYI F.: Hazai földtani térképeink topográfiai alapjai. — <i>Topographic backgrounds of geological maps in Hungary</i> . . . . .	81
TURCZI G.: A digitális térképkészítés korszaka a Magyar Állami Földtani Intézetben. — <i>The digital map construction event in the Geological Institute of Hungary.</i> . . . . .	97
SOLT P., SZEGŐ É., SZUROMINÉ KORECZ A.: Archaeogeológiai megfigyelések a szíriai Margat (al-Markab Citadel) keresztres vár ásatásán. — <i>Archaeogeological observations on the excavation of Margat (al-Markab Citadel, Syria) crusader castle.</i> . . . . .	101

\*\*\*

Az Universidad Nacional Autónoma de México és a Magyar Állami Földtani Intézet  
együttműködése 1995–2010

*The Universidad Nacional Autónoma de México and the Geological Institute of Hungary reletion of  
bilateral projects 1995–2010*

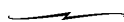
BREZSNYÁNSZKY, K., SCHAREK, P.: Main episodes in UNAM–MÁFI relation and scientific results of the bilateral projects. — <i>Az UNAM–MÁFI kapcsolat fő szakaszai és a bilaterális projektek tudományos eredményei.</i> . . . . .	117
SCHAREK, P., HERNÁNDEZ-SILVA, G., SOLORIO-MUNGUÍA, G., VASSALLO-MORALES, L., BARTHA, A., SOLÍS-VALDEZ, S., TULLNER, T.: Total mercury content in soils, sediments and tailings in San Joaquin, Querétaro, Mexico. — <i>Talajok, üledékek, és meddőhányók összes higanytartalma San Joaquin (Querétaro, Mexikó) térségében.</i> . . . . .	125
CENTERI, Cs., HERNÁNDEZ SILVA, G., JAKAB, G., GELENCSE, G.: Soil erosion modelling in a Hungarian–Mexican context. — <i>Talajerózió modellezése hazai és mexikói területeken.</i> . . . . .	131

MARTÍNEZ-TRINIDAD, S., HERNÁNDEZ-SILVA, G., SOLÍS-VALDEZ, S., SCHAREK, P.: Data of total mercury content in soils and plants in San Joaquín, Querétaro, Mexico. — <i>Adatok a San Joaquín terület (Querétaro, Mexikó) talajainak és növényzetének összes higanytartalmára vonatkozóan.</i> . . . . .	141
T. BIRÓ, K.: Prehistoric mining in Hungary. — <i>Őskori bányászat Magyarországon.</i> . . . . .	149
BORBÉLY, A.: The Spanish and Latin American professional relations of the Mining Academy of Selmecbánya (Academia Montanistica, Bergakademie). — <i>A Selmecbányai Bányászati Akadémia (Academia Montanistica, Bergakademie) spanyol és latin-amerikai szakmai kapcsolatai.</i> . . . . .	155
CARRILLO-RIVERA, J. J., VARSÁNYI, I., Ó. KOVÁCS, L., CARDONA, A.: Influence of the hydrogeological environment on groundwater flow system chemistry in the Pannonian and San Luis Potosí Basins. — <i>A hidrogeológiai környezet hatása a felszín alatti vizek kémiájára a Pannon-medencében és a San Luis Potosí-medencében.</i> . . . . .	161

# Működési jelentés

## Igazgatói előszó

FANCSIK TAMÁS  
*igazgató*



A 2010. év rendkívüli esztendő volt a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) életében. A társadalmi mozgások megkövetelte rugalmasság, a változó körülményekhez való megfelelő alkalmazkodás, illetve a szükséges változtatások felvállalása nehéz helyzetbe hozta a kutatógárdát, s olykor, szinte megoldhatatlan feladat elé állította az Intézet vezetését.

Az évet az Intézet megváltozott függelmi rendszerben kezdte. A korábbi évek során kialakított földtani intézményrendszerből kiválva a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium alá helyezett, önállóan működő és gazdálkodó, tudományos kutatóintézetként kellett megállnia a helyét az év folyamán egyre hangsúlyosabbá váló változások kedvezőtlen körülményei között. Az év első negyedében az új szervezet felállítása, az új struktúra kialakítása részben elvonta a figyelmet a gazdasági helyzethez való alkalmazkodástól, részben olyan irányokban kötött le erőket, amelyek a későbbiek során az intézmény megítélésének sem kedveztek.

A szakmai feladatok között — az intézményrendszerből való kiválás miatt — kis hangsúlyt kapott a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH) érdekkörébe tartozó tevékenység, s az Eötvös Loránd Geofizikai Intézettel (ELGI) való együttműködés. Ugyanakkor jelentős szerepet kaptak mind hazai, mind nemzetközi téren fontos pályázatok, amelyek egy része az Európai Unió társfinanszírozásával került megvalósításra; a pályázatok finanszírozása azonban a vártnál kedvezőtlenebbül alakult, s a rossz szerkezetben és nem egyszer késve megkapott pályázati források, az előző évben túlbecsülten tervezett külső bevételek elmaradása, és az adminisztratív fegyelemből fakadó — akaratlan és nem rossz szándékú, de meglévő — indokolatlan kiadások együttesen felborították az intézmény költségvetését. Ezért már júliusban, az időközben megváltozott fenntartóhoz, a Nemzeti Fejlesztési Minisztériumhoz kellett fordulni pénzügyi segítségért.

A 344/2009. (XII. 30.) Korm. rendeletet, amelynek alapján a MÁFI felügyeletét a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium látta el az év első öt hónapjában, felülírta az új kormány megalkulásával kialakított minisztériumi státútum rendelet, amely visszahelyezte a MÁFI-t a korábbi államigazgatási helyzetbe.

A folyamatok során lemondott Kordos László, a MÁFI igazgatója, akinek feladatait rövid időre Chikán Géza általános

igazgatóhelyettes vette át Fellegi Tamás miniszter megbízottjaként. Őt 29 nap múlva, október 15-től, megbízott igazgatóként váltotta fel Fancsik Tamás, az ELGI igazgatója, aki egy rugalmas, alacsonyabb kockázati szinten működő, finanszírozható, intézményrendszer kialakítását kapta feladatul a minisztertől. Mindenek előtt azonban, első intézkedéseként a kialakult pénzügyi hiányt kellett kezelnie, amit egy rendkívüli, közel 70 millió Ft-os, irányítószervi forrás bevonásával sikerült megoldania.

A Kormány 2010. december 30-ával módosította a 267/2006. (XII. 20.) rendeletét, visszaállítva az állami földtani intézményrendszer egységét. A rendelet 6A. §-a szerint a Magyar Állami Földtani Intézet önállóan működő költségvetési szerv, alaptervekenysége alapján kutatóintézet. A rendelet szerint az intézet államháztartási törvény szerinti felügyeletét a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (NFM) vezetője látja el, a szakmai irányítási jogokat a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH) elnöke gyakorolja. Az intézet e rendelet alapján közreműködik a Hivatal állami földtani feladatainak ellátásában. E közreműködés témáit, feladatait és finanszírozási rendjét külön együttműködési megállapodásban rögzítettük, s a közreműködési témákat is beépítettük az éves kutatási munkaprogramunkba, melyet — a MÁFI javaslata alapján — a Hivatal elnöke a MÁFI éves költségvetési keretének ismeretében hagy jóvá.

A 2010-re elkészített kutatási terv több elképzelése szükségszerűen megváltozott, számos új feladat jelentett kihívást a kollektíva számára a megváltozott körülmények között. Ebben a helyzetben érte jelentős szakmai kihívásként az Intézetet például a kolontári vörösiszap-katasztrófa, amelynek okával, következményeivel összefüggésbe hozható adatokat elsőként az Intézet honlapja publikált négy nappal a katasztrófa bekövetkezése után.

Legfontosabb alapfeladataink a korábbi évekhez hasonlóan elsősorban Magyarország földtani termomodelljének kialakításához, a természeti környezet elemeinek fenntartható hasznosításához kapcsolódtak, s azonos súllyal esett latba a közszolgálati feladatok megfelelő színvonalú ellátása. Mindezekhez csatlakozott az ősz folyamán az a rendkívül fontos feladatcsoport, amelyet az MBFH-val való együttműködés megújulása emelt be az Intézet feladatai

közé, s amelynek sikeres és biztonságos ellátása érdekében az MBFH az Intézet súlyos pénzügyi helyzetén is segített.

A földtani intézményrendszer egységének helyreállítása, a költségvetési források növekedése azt mutatta, hogy a MÁFI tevékenységére továbbra is szükség van. A több mint 140 éves

tapasztalat és a jelenleg is meglévő szakmai hozzáértés lehetővé teszi, hogy a nemzetgazdaság számára hasznosítható eredményeket hozzon létre az Intézet kollektívája. Ehhez — a szinergiák jobb kihasználása révén — várhatóan jó alapot teremt az intézményrendszer 2011-ben elindult, további átalakulás.

## Beszámoló a Magyar Állami Földtani Intézet 2010. évi tevékenységéről

CHIKÁN GÉZA  
általános igazgatóhelyettes

### MAGYARORSZÁG FÖLDTANI TÉRMODELLJÉNEK KIALAKÍTÁSÁHOZ KAPCSOLÓDÓ KUTATÁSOK

A Magyar Állami Földtani Intézetnek alapítása óta alapvető feladata — egyebek mellett — az ország területének földtani térképezése, az ehhez szükséges terepi munkák, laboratóriumi vizsgálatok elkészítése. Az informatika fejlődésével megnyílt a lehetőség arra, hogy az elért eredmények ne csak papír alapú hordozón kerüljenek tárolásra, feldolgozásra, értelmezésre és archiválásra, hanem komplex felhasználás során a nyert adatokat beépítsük az országos földtani térmodellbe. Ez a térmodell lényegében térinformatikai alapú tematikus adatbázisok rendszere, amelynek legfontosabb építőkövei a digitális földtani térképek, a digitális sekély- és mélyfúrás adatbázisok, valamint a regionális földtani metszetek, szelvények, amelyek a térképszintekre „merőleges” síkok mentén nyújtanak információt a földtani felépítésről. A térmodell építése kiegészül határon túlnyúló adatok szisztematikus gyűjtésével is; ezen adatokat nemzetközi együttműködés keretében, európai uniós, illetve TÉT és Interreg pályázatok támogatásával tudjuk megszerezni.

2010-ben a fő hangsúlyt a vízföldtani feladatok megoldását segítő mélyföldtani térképváltozatok megszerkesztése mellett a főváros modern szemléletű, sokoldalúan használható földtani, vízföldtani, mérnökgeológiai feldolgozásának megkezdésére és adatbázisaink integrálására, metaadatbázisaink internetes hozzáféréseinek kiterjesztésére próbáltuk helyezni. Terveink megvalósítását jelentős mértékben hátráltatta, hogy míg az éves munkáinkat a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium égisze alatt kezdtük megvalósítani, addig a második félévben a Nemzeti Fejlesztési Minisztériumhoz kerülve más feladatoknak és irányelveknek kellett megfelelnünk.

#### Magyarország 1:500 000-es földtani térképe

*Projektvezető: Gyalog L.*

*A projekt célja:* Az 1984-ben elkészült és kiadásra került 1:500 000-es Magyarország földtani térképe megújítása az azóta született rétegtani eredmények, s az azóta megszerkesztett Magyar-

ország 1:250 000-es földtani térképe, valamint a 200 000-es és a 100 000-es földtani térképek felhasználásával.

*Előzmények:* Az ország új, 1:100 000-es léptékű földtani térképeinek elkészültével megnyílt a lehetőség a huszonöt évnél régebben szerkesztett korábbi földtani térképünk megújítására. Ehhez kezdtünk hozzá 2010-ben.

*2010. során elvégzett feladatok:* Ebben az évben összeállítottuk a térkép jelkulcsának első változatát, amely kiindulási alapként szerepel a további szerkesztések számára. Kidolgoztuk azokat a szerkesztési elveket, amelyek alapján a forrásként felhasználható korábbi térképművek anyagát hasznosítani tudjuk a térkép szerkesztése során, s amelynek segítségével az egyes részterületeken dolgozó szerkesztők egységesebb munkát tudnak végezni már a munka kezdeti szakaszában is. Elkészült az ország ÉNy-i részén a vonalmű első kéziratos változata.

*Termék:* Lezáratlan ArcGIS vonalmű.

#### Magyarország prekvarter földtani térképe és domborzata (1:250 000)

*Témavezető: Magyar Á.*

*A kutatás célja:* Magyarország negyedidőszaki képződményeinek talptérképe, 1:250 000 méretarányban, lezárt adatbázissal, térképi rajzolattal (aljzatmorfológia és az aljzatképződmények ábrázolásával, 25 méterenkénti szintvonalkiosztással).

*Előzmények:* A korábbi évek kutatási programjai (MÁFI-Mol Nyrt. együttműködés, VKI víztestek jellemzése) során az ország területének nagy részére különböző felbontású negyedidőszaki talptérképek és ehhez kapcsolódó fúrás adatbázisok készültek. Ezek alapján, illetve újabb nagyszámú fúrás átértékelésével 2008-ban megkezdtük az egységes, országos prekvarter térképi adatbázis kialakítását. Ezt terveztük 2009-ben a még hiányzó területek kiegészítésével, ahol szükséges adatsűrítéssel véglegesíteni.

*2010. során elvégzett feladatok:* A még hiányzó területek kiegészítésével, ahol szükséges adatsűrítéssel, néhány fúrás átértékelésé-



vel, a részterületek szintvonalművének összedolgozásával véglegesítettük a térképi adatbázist.

*Együttműködő partnerek:* ELGI, MolNyrt.

*Termék:* A digitális földtani vonalmű lektorátlan változata; a szerkesztés során felhasznált és átértékelt fúrások véglegesített adatbázisa.

### **Dunántúli Főcsoport alatti képződmények aktualizált földtani térképe és domborzata (1:250 000)**

*Projektvezető:* Tóthné Makk Á.

*A projekt célja:* A késő-miocénben lerakódott, mind felszíni elterjedését, mind vastagságát tekintve nagy jelentőségű rétegcsoport alsó határfelülete az ország háromdimenziós földtani modelljében kiemelt jelentőségű felület, mivel több alkalmazott földtani kérdés megválaszolásában lényeges szerepe van az adott egység elterjedésének és települési viszonyainak. A fekvő földtani térképének megszerkesztése fontos része a földtani térmodell kidolgozásának. A „felső-pannóniai” (Dunántúli Főformációcsoport) homokosabb kifejlődésű rétegcsoportja és az „alsó-pannóniai” (Peremartoni Főformációcsoport) pelites kifejlődésű rétegcsoportja közötti határ minél pontosabb megszerkesztése a távlati cél.

*Előzmények:* A MÁFI 2008. évben tervezte e térkép szerkesztésének megkezdését, azonban bizonyos pályázati források elmaradása, illetve a fúrások átértékeléséhez szükséges, az eredetileg tervezettnél nagyobb időszükséglet miatt a munka 2009-ben indult meg, az Alföld területén. Ennek keretében 4241 db fúrás minősítésére és átértékelésére került sor.

*2010. során elvégzett feladatok:* Ebben az évben a szlovén–magyar T-Jam és az osztrák–szlovák–szlovén–magyar Transenergy projekt keretében végeztünk fúrás-átértékeléseket a pannóniai képződmények tekintetében. A T-Jam projekt számára a pannóniai formációkat litológiai felépítés szerint is értékeltük, és az adatbázisban a részletes adatokkal töltöttük fel. Bár e projektek keretében végzett munka során a Dunántúli Főformációcsoportba tartozó képződmények bontása más elvet követ (a deltalebenyek esetén elkülönítettük a deltafront – torkolati zátony képződményeket, a deltasíksági és alluvialis síksági kifejlődéseket viszont együtt szerepeltettük), az átértékelt fúrásoknál meghatároztuk a Dunántúli és Peremartoni Főformációcsoportok határát is. Ez a munka és a környező országok munkacsoportjaival való együttműködés kényszerítően hat a hazai pannóniai litosztatiráfiai beosztásának megváltoztatására is. Ebben a kérdésben 2011. első negyedévében terveztünk lépéseket tenni, a 2010. évi munka eredményeinek alapján.

A 2010-es évben az Alföld területén készült 2009-es szinttérképünk elkészítése után előtérbe került csereháti terület pannóniai összetételének problémája. Ezen a területen is előfordulnak lignites képződmények, valamint lignitmentes rétegsorokat is a Peremartoni Főformációcsoportba sorolt Edelényi Tarkaagyag Formációba sorolnak. A medenceterületeken a peremi lignites képződmények a Bükkaljai és Újfalui Formációba tartoznak. Mivel ezen kifejlődések határosak és a kérdés tisztázására 2009-ben nem jutott idő, így idén végeztük el mintegy 80 db fúrás pótlólagos átértékelését mind a csereháti területen, mind pedig — kiegészítésként — az Északi-középhegység déli előterében.

### **Magyarország 1:500 000-es prekainozoos földtani térképe**

*Projektvezető:* Budai T.

*A projekt célja:* Szakértők konszenzusán alapuló, az új információkat, ismereteket és elvi nézőpontokat tükröző új aljzatterkép

elkészítése, amelyen a medencealjzatról rendelkezésre álló adatok alapján a litológiai felépítésen túl a minősített, rangsorolt szerkezeti elemek, az egyes kifejlődések rétegtani beosztása és az izovonalakkal ábrázolt aljzatterkép is ábrázolásra kerül. A térkép szerkesztéséhez felhasznált adatok térinformatikai adatbázisba kerülnek, s így azok a későbbi átértékelésekhez, esetleges új változatok megszerkesztéséhez, a kézirat lezárása után született adatokkal való kiegészítéssel rendelkezésre állnak.

*Előzmények:* 1987-ben jelent meg a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) kiadványaként a „Magyarország földtani térképe a kainozoikum elhagyásával” című 1:500 000-es méretarányú térképmű, majd 1990-ben Magyarország szerkezetföldtani térképe. Mindkettő a MÁFI, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI), a szénhidrogénipar és más, a témához hozzájárulni tudó szellemi központok közös munkájaként született. Az azóta eltelt időszakban számos új adat és ismeret, valamint elméleti munka járult hozzá az ország területének geológiai megismeréséhez.

Néhány éves elkészítő munka után négyoldalú megállapodás született a MÁFI, az ELGI, az MTA Geológiai Kutatócsoport és az ELTE Általános és Történeti Földtani Tanszéke között egy új, a tudomány fejlődésének megfelelő színvonalú aljzatterkép elkészítéséről. 2005-től folytak a szerkesztési munkálatok előbb a Földtani Térképezési Főosztály, majd a Földtani Kutatási Osztály tervfeladatát, Haas János főszerkesztő szakmai irányításával.

*2010. során elvégzett feladatok:* A térkép digitális vonalművének véglegesítése; a tektonikai elemek minősítése; az aljzatterkép és a földtani vonalmű illesztése; a jelkulcs véglegesítése; fúrások átértékelése és adatbázis-építés; melléktérképek szerkesztése; kartográfálás, nyomdai előkészítés; a kiadás anyagi fedezetének előteremtése.

*Együttműködő partnerek:* ELTE-MTA Geológiai Kutatócsoport, MolNyrt, Pécsi Tudományegyetem, Mecsekérc Zrt.

*Termék:* 2010 májusában elkészült és megjelent az új 1:500 000-es méretarányú térkép papír alapú nyomtatott változata hajtogatva (tasakban) és hajtogatatlanul, valamint műanyagalapú domborfalitérképként.

### **Földtani-vízföldtani szelvények harmonizációja és térmodellbe integrálása**

*Témavezető:* Tullner T.

*A kutatás célja:* Harmonizált földtani-vízföldtani szelvények és elvi rétegoszlopok adatbázisának készítése az ország területéről és ezeknek térmodellbe integrálása.

*Előzmények:* Az adatbázis első verziója 2007. június 31-ére készült el, melynek vízföldtani változatát átadtuk a VKKI számára. Ez nyers, nem harmonizált változat volt. 2007 után az adatbázis harmonizációja több fázisban történt meg, melynek során 2010-ig a fúrási rétegsorokkal egységes szemléletben egyeztetettük.

*2010. során elvégzett feladatok:* 2010-ben az adatbázis végleges elkészítése, illetve térmodellbe való integrálhatóságának tesztelése volt a cél.

A harmonizáció keretében első lépésként a szelvényeket térinformatikai módszerrel a szelvénykereszteszésekben egyeztetettük, ezt követte az így elkészült adatbázisnak a MÁFI aktuális egységes földtani jelkulcsrendszerével való harmonizációja. Az utolsó lépés a földtani szelvényeknek az új hidrosztatiráfiai minősítés alapján ismételtelen vízföldtani szelvényekké való konverziója volt. Az elkészült termék nem kartográfált, a tervek szerinti Interneten való publikálásához kartográfálás szükséges.

Az adatbázisból kiválasztott szelvényeket a korábban elkészült Magyarország pretercier aljzatának 3D modelljébe integráltuk.

*Termék:* Internetes elérhetőségre és tanulmányozhatóságra előkészített földtani-vízföldtani szelvények.

### Magyarország 3D földtani modelljének építése

*Témavezető:* Maros Gy.

*A kutatás célja:* A térmodell térinformatikai alapú tematikus adatbázisok összefüggő rendszere, amelynek alap építő kövei az ország területét lefedő digitális földtani térképek, az ország területén mélyült sekély- és mélyfúrások digitális adatbázisai, valamint a regionális földtani szelvények, amelyek a térképszintekre „merőleges” síkok mentén nyújtanak információt a földtani felépítésről. A térmodell kiegészül a különböző tematikus (vízföldtani, környezetföldtani, geokémiai, talajtani, geotechnikai stb.) adatbázisokkal is. Az országos modell információsűrűsége átlagosan 1:500 000, folytonos, raszteres és vektoros elemeket egyaránt tartalmaz. A bemenő adatok vonalas elemek (fúrások), térképek, szelvények, ferde, hajlott felületek (szerkezeti elemek), 3D testek, voxel információk.

*Előzmények:* A projekt 2009-ben indult a hozzáférhető modellező szoftverek elérhetőségének elemzésével, a modell alapparamétereinek kidolgozásával, a modellbe integrálható térképi adatbázisok felmérésével.

*2010. során elvégzett feladatok:* Rockworks modellbe integráltuk a prekainozoos, a prekvarter és a felszíni földtani térképi adatbázist, a földtani-vízföldtani szelvényeket, az átértékelt mélyfúrási adatbázist. Tektonikai térképi adatbázist készítettünk az ország legjelentősebb lineamenseiről, töréseiről, takaróhatáiról. Megkezdtük a mélyfúrások és a térképszelvények konzisztencia elemzését.

*Termék:* Rockworks modell.

### A Gerecse hegység 1:50 000-es földtani térképének szerkesztése

*Témavezető:* Fodor L.

*A kutatás célja:* A Gerecse hegység 1:50 000 méretarányú földtani térképének elkészítése, a csatlakozó magyarázó megírása, a terület földtani felépítésének tisztázása.

*Előzmények:* A földtani reambuláció 2008-ban indult, az 1990-es évek elején végzett felvételekre alapozva.

*2010. során elvégzett feladatok:* Terepi reambulációs felvételeket a Dunaszentmiklós L-34-1-D-d-1, 2, a Süttő L-34-1-C-b 1:25 000-es lapokon, illetve a Naszály L-34-1-D-c lapon terveztünk és végeztünk. A dunaszentmiklói lap felvételéhez kapcsolódóan rögzítettük a nyáron bekövetkezett dunaszentmiklói csuszamlás nyomait és következményeit, és ehhez kapcsolódóan az L-34-1-D-d-3-as lap ÉNy-i részén is terepi felvételt végeztünk. A Vértesszőlős L-34-13-B-b lap nyugati felén megkezdődött a negyedidőszaki képződmények reambulációja. A negyedidőszak beosztásával és értelmezésével kapcsolatban több terepi megfigyelés és a süttöi szelvény terepi felvétele is megtörtént.

Elkészítettük és véglegesítettük a terepi felvételeket dokumentáló leírás formáját és megkezdtük az eddigi térképezési adatok feltöltését a Gerecse észlelési adatbázisba. Megoldottuk a térképek, a feltárás-leírások, a fúrási adatok, és a fényképfelvételek egységes, Google Earth alapon történő megjelenítésének problémáját. Ez fontos a térképszervezéshez és egyben látványos eredménye is az eddigi munkánknak.

Kormeghatározás céljából 20 db üledékmintát gyűjtöttünk be Császár, Dad, Kerékteleki, Dunaalmás, Neszmély, Bana, Mocsá és

Tata közeléből. Ezek közül 6 db minta kvarc OSL mérése befejeződött (Császár, Dad, Kerékteleki), 4 db mintán kvarc OSL tesztmérések folynak (Dunaalmás Által-ér, Neszmély). 10 db minta földpát IRSL-OSL kormeghatározása az ELTE Természeti-földrajzi Tanszékén készül, az előzetes adatok szerint ezek a minták (Bana, Mocsá és Tata, Dunaalmás-Betlehi bánya) túl idősek a kvarc OSL kormeghatározáshoz. Az eredményeket poszter formájában bemutattuk a 10th International Conference „Methods of Absolute Chronology” konferencián (Gliwice).

A 2008-2009. évi francia-magyar Tét projekt keretében készült kozmogén izotópos mérések elkészültek, a kiértékelés jelenleg folyik. Az előzetes eredmények bemutatása megtörtént a CBGA konferencián, Thessalonikiben.

Környe, Császár és Dunaalmás közeléből 6 db éleskavicsra készült vékonycsiszolatleírás, SEM vizsgálat (felületi képek és elemspektrumok, MÁFI), RTG vizsgálat (egy kavics felületén és belsején, MÁFI), ICP-MS vizsgálat (egy csiszolaton, MÁFI), és mikroszondás vizsgálat (egy csiszolaton, Geokémiai Kutatóintézet). Az eredményeket poszter formájában mutattuk be az IMA 2010 konferencián (Budapest).

Az irodalmi adatok és a gerecsei térképezés által nyert információk alapján megrajzoltuk az Északi-Gerecse eocén litosztratiográfiai képét, röviden jellemeztük az egyes formációkat és előzetesen összefoglaltuk a terület eocén fejlődéstörténetét. Az eredmények konferencia rövidcikk formájában kerültek publikálásra.

Az irodalmi adatok és a gerecsei térképezés által nyert információk alapján megrajzoltuk az Északi-Gerecse eocén litosztratiográfiai képét, röviden jellemeztük az egyes formációkat és előzetesen összefoglaltuk a terület eocén fejlődéstörténetét. Az eredmények konferencia rövidcikk formájában kerültek publikálásra.

A Gerecse nyugati előterében elkészítettük 6 feltárás negyedidőszaki képződményeinek szedimentológiai dokumentációját. A dunaszentmiklói 4-es lapon, a Szél-völgyben felmértük a völgy negyedidőszaki képződményeit a völgyfejlődés megértésének szempontjából. A terepei és értelmező rajzok, leírások folyamatban vannak. A felvétel a jövő évre tervezett laphoz kapcsolódik.

Meghatározás és újraértékelés céljából szisztematikus gyűjtés történt a Nyergesújfalu melletti eocén alapszelvény („korallós-árok”) korallós rétegeiből.

Az ELTE kutatói segítségével elemeztük a lábatlani lap kréta képződményeinek üledékföldtani szerkezetét és törésrendszerét, az eredményeket a Magyarhoni Földtani Társulat Huntek platformjának kirándulásán vitattuk meg.

A tavalyi felvételi lapokon morfológiai elemzést és a negyedidőszaki képződmények elemzését végeztük el. Az eredményeket bemutató szelvényeket poszteren összesítettük.

Egy az ELTE-n készülő szakdolgozat keretében elkészült a lábatlani, dunaszentmiklói, vértesszőlői és tarjáni lapokon megjelenő hasadékkitöltések szerkezeti elemzése, a kitöltő anyag kőzet-tani vizsgálata. Igazolást nyert az aktív eocén deformáció. Megtörtént a telérek környezetében mért vetők szerkezeti elemzése, azok fázisba sorolása.

Térképszervezési munkáink keretében a 2009-ben reambulált lapok szerkesztését terveztük. A Nyergesújfalu L-34-2-C-a lapon elkészült a digitális szerkesztett vonalmű (képződményhatár és szerkezeti határ) és a foltok indexelése, valamint a déli laphatár egyeztetése. Megtörtént a térinformatikai feldolgozás, elkészült a lap színezett változata. Rögzítésre kerültek az egyéb földtani jelek (dőlés tüskék, fúrások, éleskavics-előfordulások, speciális rétegtani adatok). A Lábatlan L-34-2-C-cjelű lapon elkészült a fedett földtani térkép vonalműve. A térinformatikai feldolgozás folyamatban van. A Tata L-34-13-B-a jelű lapon elkészült a fedett földtani térkép digitális

vonalműve, folyamatban van a vonalmű térinformatikai feldolgozása. E lapon prekvarter változatot is készítettünk.

Együttműködő partnerek: ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Természetföldrajzi Tanszék, MTA Geokémiai Kutatóintézet.

Termék: Az elkészült térképek, föltleírások, terepi észlelési adatbázis, fotodokumentációk, módszertani leírások, laboratóriumi vizsgálati eredmények, publikációk, Google Earth-fájlok a Magyar Állami Földtani Intézet szerverén megtalálhatók.

### **Magyarország 1:200 000-es földtani atlasza**

*Projektvezető: Gyalog L.*

*A projekt célja:* A MÁFI által 2009-ben kiadott, magyar–angol nyelvű atlasz sikere és az iránta mutatózó kereslet felvetette a második kiadás szükségességét, amelyet magyar–angol, illetve magyar–német változatban terveztünk megvalósítani.

*Előzmények:* A kétnyelvű (magyar–angol) atlasz 1. kiadása rövid időn belül elfogyott.

*2010. során elvégzett feladatok:* Az 1. kiadás formai és tartalmi hibáinak kijavítása után új objektumok leírását illesztettük be, az országhatárokon túli részekben új ábrákat és a leírások tájegységeinél új elválasztó lapokat készítettünk. A fényképek közül a kevésbé jó minőségűeket kicseréltük. Az eddig csak magyarul szerepelt részeket angolra és németre, egyúttal a teljes kötetet németre fordítottuk. Új lapraszedés után kartográfiai javításokat, nyomdai előkészítést végeztünk. A kötet nyomdai költségeihez szponzorokat kerestünk.

*Termék:* A nyár folyamán mind a magyar–angol, mind a magyar–német atlasz nyomtatásban megjelent.

### **Az országos földtani jelkulcs folyamatos karbantartása, aktualizálása**

*Projektvezető: Gyalog L.*

*A projekt célja:* A MÁFI által készített térképek és fúrás adatbázisok egységes arculatának biztosítása.

*Előzmények:* Az egységesség érdekében a jelkulcsot folyamatosan egészítjük ki a készülő új térképek anyagával, s a fúrásértékelésekhez kapcsolódóan születő új javaslatokkal.

*2010. során elvégzett feladatok:* Az év folyamán folyamatosan frissítettük az egységes jelkulcs tábla anyagait. Kialakítottuk a hivatalos korbeosztásnak megfelelő második oszlopot, ehhez megteremtettük a technikai feltételeket.

*Termék:* Az Egységes Jelkulcs tábla angol változatának Internetre történő felrakásához előkészített anyag.

### **BUDAPEST FÖLDTANI TUDÁSBÁZIS ÉS MODELL**

*Témavezető: Maros Gy.*

*A kutatás célja:* A tágabb értelemben vett földtan részéről egységes és egyenletes felbontású alapadatrendszer, alaptérképek és modell, emellett vízföldtani, környezetföldtani, építésföldtani, természetvédelmi stb. bázis biztosítása a város fenntartható és emberközpontú fejlődéséhez, a városvezetés és a polgárok számára. Ennek érdekében több projektet valósítunk meg az elkövetkező években. A főváros — hasonlóan a többi nagyvároshoz, „mega-

city”-hez” folyamatosan változik: alakul és átalakul, miközben a különböző beavatkozások egymással is, és a természeti környezettel is kölcsönhatásban vannak.

A munka eredményeként naprakész földtani alapadatokat és erre épülő alkalmazott földtani minősítésű adatokat tervezünk szolgáltatni nagy, 1:10 000-est megközelítő méretarányban. Az adatrendszert egységes informatikai rendszerbe integráljuk, amelybe beletartoznak a frissen létesült és archív feltárások, a mély- és sekélyfúrások, vízmegfigyelő kutak. Utcaszintű topográfiai alapon, különböző rétegeken, különböző földtani, alkalmazott földtani térképeket szerkesztünk: földtani-szerkezetföldtani, településföldtani, vízföldtani jelkulccsal. A térképek és fúrások alapján 3D földtani modellt hozunk létre a felső 50 méteres térrészre. Ugyanitt talajvíz-áramlási és sekély geotermikus hőáramlási modellt szolgáltatunk. A főváros területén és térségében a vízrendszereket tekintve több regionálisan kezelendő térrész van: a Duna-balparti részek alluviális és teraszos talajvízrendszere, a hozzá kapcsolódó rétegvíz részrendszerekkel; a Duna-jobbparti részek alluviális és dombhegyvidéki talajvízrendszerei, a hideg és termálkarsztrendszer. Mindhárom rendszer működésében jelentős szerepet játszik a Dunával és a fővárosi felszíni vizekkel való kapcsolat, valamint az egyes rendszereket ért beavatkozások („pressures”) összessége. Miután a beavatkozások hatását (legyenek azok akár lokálisan tervezettek, akár előre nem tervezettek, esetleg havária-szerűek) a regionális viszonyok között lehet megfelelően értékelni, ezért az ilyen rendszerek esetében csak a rendszeresen megismételt regionális felvételezések és értékelések, illetve a folyamatosan fejlesztett regionális hidrogeológiai modellezések adhatják az alapot a szakszerű területfejlesztésekhez, -rendezésekhez, valamint a víz-, környezet és geotermikus energia-gazdálkodáshoz.

A téma megvalósítása több projekt keretében történik. A budai oldalon rendszeres földtani térképezést hajtunk végre, majd ezzel párhuzamosan, de időben eltolva szerkesztjük meg az alkalmazott földtani térképeket és modelleket. A Pesti-síkságon összegyűjtjük a rendelkezésre álló földtani alapadatokat, és reambulációt végzünk. Ezután megszerkesztjük a térképeket és a modellt. A téma végső fázisában összedolgozzuk a pesti és budai terület térképeit és modelljeit.

A téma megvalósításának célja egy, az Interneten is szolgáltatható 1:10 000-es méretarányú, térképekből, fúrás adatokból, föltleírásokból és 3D modellekből álló téradat rendszer, valamint a Budai-hegység vagy Budapest 1:25 000-es földtani atlasza, a Budai-hegység 1:50 000-es tájegységi földtani térképe és magyarázója.

*Együttműködők, partnerek:* Kerületi Önkormányzatok, Fővárosi Vízművek, Fővárosi Csatornázási Művek, Fővárosi Köztér-terület-fenntartó, Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi-, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség, Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Főmterv.

A tárgyévi eredményeket projektenként ismertetjük.

### **A Budai-hegység térképezése**

*Projektvezető: Gyalog L.*

*A projekt célja:* Budapest földtani tudásbázisának megalapozása a budai oldalon, részletes földtani térképezéssel.

*Előzmények:* A MÁFI 1983-ban kiadta Budapest mérnök-geológiai térképsorozatát, amely a korábbi földtani felvételek

eredményeire támaszkodott, s részletes földtani felvétel nem előzte meg a Budai-hegység területén. Ezt a hiányt pótolja (amennyiben terveinket meg tudjuk valósítani) a tervezett felvétel, melynek keretében 5 év alatt 20 db 1:10 000-es térképlap felvételét végezzük el, laponként észlelési és fedett térképeket készítünk.

*2010. során elvégzett feladatok:* Megkezdjük a térképezéshez szükséges, a területre vonatkozó földtani adatbázis építését. Előzetes terepbejárásokon alakítottuk ki az alkalmazandó felvételi módszerek együttesét, s elvégeztük a felvételi területek szakmai felelőseinek kiválasztását is.

### **A Pesti-síkság földtani és alkalmazott földtani térképe és 3D modellje**

*Projektvezető: Szurkos G.*

*A projekt célja:* Budapest földtani tudásbázisának megalapozása a pesti oldalon.

*Előzmények:* A MÁFI 1983-ban kiadta Budapest mérnökgeológiai térképsorozatát, amely a korábbi földtani felvételek eredményeire és az azokat felhasználva végzett mérnökgeológiai felvételekre támaszkodott. Ennek a munkának az eredményeit átértékelve az új igényeknek megfelelő térképváltozatokat készítünk a főváros és az agglomeráció településeinek területéről.

*2010. során elvégzett feladatok:* Megkezdjük a térképezéshez szükséges, a területre vonatkozó földtani adatbázis építését. Elvégeztük a felvételi területek szakmai felelőseinek kiválasztását. Budapest IV. kerületéről részletes alkalmazott földtani térképsorozatot készítettünk.

*Termék:* Budapest, IV. kerület településgeológiai térképsorozatának és magyarázójának kézirat.

### **Vízföldtani és hőáramlás-modell elkészítése**

*Projektvezető: Muráti J.*

*A projekt célja:* A világ számos nagyvárosára készült és készül regionális geológiai és hidrogeológiai értékelés. Ezek közül néhány példaértékű összefoglalóról, az ott alkalmazott monitoringokról, és modellezésekről state of the art jellegű szakirodalmi áttekintést és összevetést készítettünk. Azokat a nagyvárosokat vizsgáltuk, ahol a budapesti helyzethez hasonlóan a városi regionális környezeti hatások regionális talaj-, réteg-, vagy karszt-vízrendszert érintenek.

*Előzmények:* A korábbi évek során számos kis-regionális és lokális vízáramlási modellt készítettünk, ezek áttekintése és rendszerbe foglalása is a projekt feladata.

*2010. során elvégzett feladatok:* Részletes adat- és információgyűjtést végeztünk külső partnerektől. Feldolgoztuk a területen folytatott eddigi kis-regionális és lokális modellezéseink eredményeit. Elkészítettük a példaként kiválasztott nagyvárosok szakirodalmi adatainak összefoglaló értékelését és a budapesti viszonyokra levonható tanulságokat (Perth, Toronto, New York, Drezda stb.). Összefoglaltuk a pesti oldal talajvízeire készített regionális áramlási modell első eredményeit, vagyis a modellezett talajvízdomborzatot, áramlási pályákat és a fontosabb vízház-tartási adatokat.

*Termék:* Szakirodalmi összefoglaló értékelés külföldi nagyvárosok hidrogeológiai modellezéseiről.

### **Pályázatok keretében végzett alapkutatási feladatok a magyarországi térmodell építés megalapozásához**

2010-ben két horvát-magyar TÉT pályázat, valamint több OTKA pályázat kutatási eredményei járulnak hozzá a Kárpát-medence, ezen belül Magyarország földtani térmodelljének pontosításához. Ezek az alábbiak:

Délkelet-dunántúli és kelet-horvátországi, valamint Adria parti lösz/paleotalaj szelvények korrelálása (horvát-magyar TÉT, témavezető: Koloszar L.)

A baranyai régió földtani térképezési eredményeinek egységesítése (horvát-magyar TÉT, témavezető: Chikán G.)

A defláció szerepe a Dunántúli-középhegység és előterének nyugedidőszaki felszínfejlődésében (OTKA pályázat, témavezető: Csillag G.)

Triász platform és medencefáciések kapcsolata a Pilis vonulatban (OTKA pályázat, témavezető: Budai T.)

Az Alföld nyugati pereme plio-pleisztocén üledékeinek tagolása és párhuzamosítása (OTKA pályázat, témavezető: Magyarai Á.)

Miocén-pliocén deformáció és üledékképződés a Pannon-medencében: új adatok szerkezetföldtani, szedimentológiai és geokronológiai vizsgálatok alapján (OTKA pályázat, témavezető: Fodor L.)

### **INTEGRÁLT FÖLDTANI ADATBÁZIS ÉS METAADATBÁZIS RENDSZER FEJLESZTÉSE**

#### **Stratégiai adatbázisok**

*Témavezető: Turczi G.*

*A kutatás célja:* A futó projektek adattartalom igényeinek egyeztetése, az adatbázisokon végzett műveletek összehangolása, a keletkező részadatbázisok elhelyezése (visszakönyvelése) az adatbázisba, a tartalmi adatgazdák és a témavezetőkön keresztül az informatikai szabályzatban megfogalmazott elvek érvényesítése.

*Előzmények:* 2004 júniusától működő geobank nevű adatbázis, mely tartalmazza a magyar jelkulcsot és 200 000 magyar fúrás adatait.

*2010. során elvégzett feladatok:* Alapvető feladatunk az adatbázis rendszeres karbantartása és adatminőségének ellenőrzése, a futó projektek igényeinek kielégítése. Ebben az évben kerültek betöltésre a TJAM projekt során átértékelt fúrások új rétegsorai. Jelentős fejlesztés volt a magyar földtani jelkulcs frissítésének (nemzetközi korbesorolás szerinti bővítés) adatbázis-oldali előkészítése és végrehajtása. A másik fontos fejlesztés a fúrások megbízhatóságának és származási adatainak rögzítését valósította meg.

#### **Informatikai módszertan és WEB szolgáltatások**

*Témavezető: Turczi G.*

*A kutatás célja:* A MÁFI informatikai rendszerének működését segítő fejlesztések nyomonkövetése és megvalósítása. Az intézeti termékek Intraneten történő folyamatos szolgáltatása, az ehhez szükséges fejlesztések megvalósítása. A térképi adatbázisok kiépítése az INSPIRE által megszabott határozatok és irányelvek szem előtt tartásával.

*Előzmények:* Évek óta folyamatosan működtetjük a mafi-loczy.mafi.hu nevű szervert, mely a MÁFI publikus térképszerverét és a hozzá szükséges környezetet biztosítja.

*A 2010. év során elvégzett feladatok:* 2010-ben verziófrissítést végeztünk. Az év során az alábbi térképek webes publikálását készítettük elő és valósítottuk meg:

*Magyarország földtani térképei*

A Mórággyi-rög északkeleti részének földtana 1:10 000 (térkép-sorozat)

Fúráspontrákép — az országban lemélyült mélyfúrások alapadatai

Magyarország felszíni földtani térképe, méretarány 1:100 000

Magyarország mélyföldtani térképe, méretarány 1:100 000 (Mecsek és a Magyar-középhegység)

Magyarország felszíni földtani térképe, méretarány 1:200 000

Magyarország földtani atlasza országjáróknak, méretarány 1:200 000

Magyarország mélyföldtani térképe, méretarány 1:500 000

*Építésföldtani és környezetföldtani projektek*

Budapest építésföldtani térképsorozat, 1:40 000; 4 változat

Hová helyezhetem? — Potenciális hulladéklerakók elhelyezési lehetőségei

A vizek nitrátszennyezés elleni védelmét szolgáló környezet-tudatos, versenyképes mezőgazdasági gyakorlat, technológia fejlesztésének megalapozása

*DANREG — Danube Region Environmental Research Programme*

Közepes méretarányú térképváltozatok (1:100 000 és 1:200 000)

Kis méretarányú, félmillió térképváltozatok

*Országos jelentőségű vízföldtani projektek*

Az EU Víz Keretirányelv felszín alatti víztestek adatbázisa építési munkái (FAV)

eWater - felszín alatti vizek országos adatbázisa

*Nemzetközi projektek webtérkép igényeinek kiszolgálása (WMS szolgáltatás)*

OneGeology

OneGeology Europe

*E témához köthető egyéb eredmények*

Házi ArcGIS oktatás a Földtani Térképezési Osztály Budapest projektjében dolgozók számára.

„Földindulás” interaktív geokiallítás és vásár, MÁFI stand-Természettudományi Múzeum. 2010. október 1-3.

ArcGIS ismeretek — 1 féléves gyakorlat. ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék. 2010. tavaszi félév.

## One-Geology (1G-E)

*Témavezető: Síkhegyi F.*

*A kutatás célja:* Az eContentplus pályázat keretében közreműködés az európai földtani szolgálatok által menedzselte 1:1 000 000 méretarányú Európa interoperábilis földtani térképének elkészítésében és internetes közreadásában. A pályázatban a MÁFI Magyarország földtani térképének kezelését, illetve a különböző térképi metaadat-szolgáltatásokat látja el.

*Előzmények:* Intézetünk 2008 óta vesz részt az európai földtani szolgálatok által megpályázott és elnyert eContentplus programban, ami OneGeology-Europe néven a földtani térképek egész kontinensre kiterjedő egyeztetett digitális földtani térkép szerkesztését és webes közreadását célozza meg. A munka 10 témában zajlik, amik közül hat résztemában (WP 1, 3, 4, 6, 7 és 8) veszünk részt, eltérő intenzitással.

*2010. során elvégzett feladatok:* A projekt záróévében sikerült véglegesíteni a publikálandó térkép litológiai és földtani korok szerinti jelkulsait. Ezek kialakításában aktívan részt vettünk mind

hazai, mind nemzetközi megbeszéléseken. A projektben előírt térképet elkészítettük és a projekt által előírt módon saját szerverünkről szolgáltatjuk. Ennek eredményeként a francia szerveren futó központi portálon (<http://onegeology-europe.brgm.fr/geo-portal>) megjelenő magyar adatok közvetlen a MÁFI szerveréről töltődnek be.

## A TERMÉSZETI KÖRNYEZET ELEMEINEK FENNTARTHATÓ HASZNOSÍTÁSÁHOZ KAPCSOLÓDÓ KUTATÁSOK

### Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok lerakóhelyének kutatása

*Témavezető: Balla Z.*

*A kutatás célja:* A kutatás célja a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló tároló befogadására alkalmas közzettest korábbi években végzett vizsgálatainak folytatása volt.

*Előzmények:* A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló létesítési engedélyének kiadását követő földtani munkálatokban fúrások és vágatok dokumentálásával, valamint tematikus vizsgálatokkal vettünk részt, s összefoglaltuk a korábbi vizsgálatok szakmai eredményeit.

*2010-ben az alábbi feladatokat teljesítettük:* A létesítési engedély kiadása előtt végzett korábbi vizsgálatainkról összefoglaló cikkgyűjteményt állítottunk össze a Magyar Állami Földtani Intézet 2009. évről szóló Évi Jelentésében. Elvégeztük 308 fm-en, illetve 166 fejtési homlokokon a földtani-tektonikai vágatdokumentációs feladatokat, valamint dokumentáltunk 6 db fúrást. Vágat-térképeket és palásttérképeket készítettünk a dokumentált szakaszokon. Tovább folytattuk a vágatban megjelenő vizek mintázását és elemzését. A felszíni hidrogeológiai monitorozásunk is folyamatos volt.

*Együttműködő partnerek:* Egyes feladatok esetében a Mecsek-érc Zrt. megrendelőnk volt, más feladatokat intézetünk saját erőből, együttműködő partnerek nélkül hajtotta végre.

*Termék:* 2010-ben jelent meg A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése a 2009. évről a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. támogatásával; a kötet szakkikerei az üveghutai kutatások legutóbbi eredményeit foglalják össze.

### A Paksi Atomerőmű bővítésének földtani kutatási feladatai

*Projektvezető: Chikán G.*

*A projekt célja:* Részvétel, a MÁFI képviselete a Paksi Atomerőmű bővítésének földtani munkálatainak előkészítésében.

*Előzmények:* Az Országgyűlés 2009. március 30-án 95,4%-os szótöbbséggel előzetes elvi hozzájárulást adott a paksi atomerőmű telephelyén új blokk(ok) létesítését előkészítő tevékenység megkezdéséhez. A MÁFI fontos feladatának tekinti a tervezés/ kivitelezés földtani megalapozásában való részvételét.

*2010. során elvégzett feladatok:* Számos fórumon és tárgyaláson vettünk részt, ahol ismertettük és képviseltük véleményünket és a földtani kutatás jelentőségét és szerepét a tervezett beruházás megvalósításában. Ezek között is kiemelt jelentőségű volt a Magyar Tudományos Akadémián 2010. április 12-én rendezett előadóülés, melyen előadást tartottunk.

**ÁSVÁNYI NYERSANYAGOK EU ADATBÁZISAI****EuroGeoSource projekt**

*Projektvezető: Scharek P.*

*A kutatás célja:* Az EU által finanszírozott, 250532 számú „EU Information and Policy Support System for Sustainable Supply of Europe with Energy and Mineral Resources” című projektben való részvétel.

*Előzmények:* A projekt, előzetes egyeztetések és program-készítés után, 2010 áprilisában indult, a befejezési határidő: 2013. március. A munka 11 munkabizottságban (WP) folyik, ezekben a MÁFI tagként, a WP3-as bizottságban témavezetőként vesz részt. Feladatait a projekt dokumentációja tartalmazza.

*2010-ben elvégzett feladatok:* A projekt munkatervének megfelelően, az év során részt vettünk a WP11 (honlap), a WP2 (felhasználói elvárások), WP3 (adatbázisok, adatgazdák), WP4 (tervezett adatszerkezet) munkacsoportok munkájában. Részt vettünk 4 bizottsági ülésen, ebből egyet Budapesten meg is szerveztünk. A WP3 munkacsoport keretében elvégeztük az adatgyűjtést, kiértékelést, és jelentést készítettünk. Megkezdtük a 2011. márciusban, újra Budapesten tartandó első, nyilvános Projekt Beszámoló Ülés szervezését. Év közben kapcsolatot tartottunk a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal Földtani és Adattári Főosztályával, mint a projekt Tanácsadó Testületének tagjával, elsősorban a hazai nyersanyag adatbázis tartalmával kapcsolatban. A munka keretében megindult a <http://www.eurogeosource.eu> honlap, magyar adatokkal is feltöltve.

*Együttműködő partnerek:* Az EuroGeoSource konzorcium tagjai (holland, dán, észt, lengyel, belga, szlovén, román, portugál földtani szolgálat/intézet, Zaragozai Egyetem, GEODAN Ltd., Bolgár Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium), Magyar Bányászati és Földtani Hivatal.

*Termék:* Magyar adatszolgáltatás a honlapra, jelentés a nyersanyagokkal kapcsolatos hazai adatkezelésről.

**GASH projekt**

*Projektvezető: Nádor A.*

*A kutatás célja:* A nemzetközi szinten is felértékelődött „nem konvencionális” energiahordozókról, gázképzésre alkalmas szerves anyagban dús képződményekről a Holland Földtani Szolgálat (TNO) által készített adatbázis kialakításában való részvétel.

(GASH projekt). Ennek keretében a megbízó által előírt formátumban biztosítunk földtani adatokat (elterjedés térképek, fúrási rétegsorok, szerves geokémiai adatok) az alábbi képződményekről: Kösseni Formáció, Óbányai Aleurolit, Vasasi Márga, Tardi Agyag, kárpáti-badeni szerves anyagban dús képződmények a Dunántúlról, Endrődi Márga.

*Előzmények:* A Holland Földtani Szolgálat megbízta a Magyar Állami Földtani Intézetet a potenciális magyarországi gázipalák kőzetek áttekintésével, a legkedvezőbb tulajdonságú képződmények adatainak adatbázisbarendezésével.

*2010. folyamán elvégzett feladatok:* A TNO által megadott előzetes szempontoknak (1 m-nél vastagabb, konszolidált, finomszemcsés kőzet (kőzetliszt, agyag frakció), melyekben a szerves szén mennyisége meghaladja az 1%-ot, érettsége (VRr) pedig kisebb 4%-nál) megfelelő kőzeteket vizsgáltunk meg. Kőszén nem jöhetett számításba, de biogén palák igen. Ennek alapján a Veszprémi Márga, a Kösseni Formáció, a Vasasi Márga, a Tardi Agyag, a Kiscelli Agyag és az Endrődi Márga minősül Magyarországon potenciálisnak, ezek releváns adatai kerültek az adatbázisba.

*Együttműködő partnerek:* Holland Földtani Szolgálat (TNO).

*Termék:* A magyarországi potenciális gázipalák-képződmények adatbázisa.

**A Víz KERETIRÁNYELV HAZAI MEGVALÓSÍTÁSÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FELADATOK****Az országos vízgeokémiai modell fejlesztése**

*Témavezető: Szócs T.*

*A kutatás célja:* A munka távlati célja a felszín alatti vizek és mélységi fluidumok egységes vízgeokémiai adatbázisának fejlesztése és összekapcsolása a földtani, vízföldtani és geotermikus adatbázisokkal. Célunk az, hogy mind a VKI vízgyűjtő-gazdálkodási feladatai teljesítését, mind a hazai víztesteket érintő geotermikus feladatok megoldását, illetve a mélységi tárolótereket érintő egyéb beavatkozások hatásainak elemzését segítsük ezen információkkal, illetve azok elsődleges értékelésével.

*Előzmények:* A korábbi évek során elkezdett vízminőségi adatok gyűjtését folyamatosan bővítettük és értékeltük, mind regionális, mind országos szinten. Az országos léptékű vízgeokémiai értékeléseink révén közreműködtünk az EU Víz Keretirányelv hazai adaptációjával kapcsolatos feladatokban, a hideg vizes és a termálvizes víztartók/víztestek fenntartható gazdálkodásával kapcsolatos kérdések megválaszolásához. Ezen ismeretek felhasználásával teljesítettük a VKI feladatainak végrehajtásához illeszkedő, 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet 2. §-a szerint a MÁFI-ra háruló feladatokat. A koncepcionális vízgeokémiai modellek a földtani, geofizikai térmodellekre, valamint a hidrogeológiai modellfejlesztésekre alapozva ugyanakkor elősegítették a hidrogeológiai modellezést is, független kalibrálási paramétert biztosítva a modellezés számára.

*2010. során elvégzett feladatok:* Az országos vízgeokémiai modell fejlesztése, a felszín alatti vizek állapotértékelésével és a vonatkozó intézkedések tervezésével kapcsolatos feladatok ellátása témakörben — döntően a T-JAM projekt területére koncentráva — a vízgeokémiai adatgyűjtés folyamatos fejlesztése a legfrissebb adatok beszerzésével, rögzítésével, harmonizálásával és elsődleges értékelésével zajlott.

*Termék:* Javított, illetve bővített adatbázis.

*Kapcsolódó OTKA pályázat:* A talajvíz nagy arzén tartalmának eredete fiatal medencékben. Kutatásvezető: Szócs T.

**Hidrogeológiai modellfejlesztések**

*Projektvezető: Tóth Gy.*

*A téma célja:* Háttérrel biztosítani az államigazgatás olyan feladataihoz, melyeknél regionális hidrogeológiai értékelésekre van szükség. Ehhez a térségekre vonatkozó mennyiségi és minőségi állapotértékelések napra készen tartása szükséges. Ez az adott térségekre vonatkozó hidrogeológiai értékelések folyamatos követését, frissítését, valamint a határon túlnyúló XL Pannon vízföldtani modell folyamatos fejlesztését és aktuális futtatásait igényli.

*Előzmények:* A VKI feladatainak végrehajtásához illeszkedő, 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet 2. §-a szerint a MÁFI-ra háruló feladat a határokkal osztott felszín alatti víztestek állapotát, és a Magyarországon javasolt intézkedéseket bemutató rövid összefoglalók készítése a határvízi egyeztetésekhez, illetve az ICPDR

(International Commission for the Protection of the Danube River) egyeztetésekhez a kormányzati illetékesek számára.

*A 2010. évben elvégzett feladatok:* Részvétel határvízi szakértői bizottságokban (2010. február, Pozsony). A szomszéd országokkal való egyeztetéseknél igény merült fel a határokon átmenő vízforrások objektívabb, transzparenssebb elemzésére. Az XL Pannon modell fejlesztése részben ennek az igénynek a kielégítését szolgálta. Ebben az évben a medencebeli sekély-porózus, porózus, és porózus termál víztestek vízháztartási adatait modelleztük. Felhasználtuk e munkában a hajdúnánási szénhidrogén-ipari mélybesajtolási megbízás által szerezhető információkat is.

*Termék:* Alapozó anyagok (adattáblák és szöveges értékelések), összefoglaló tanulmány az éves munkáról. Az International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR) aggregált víztestek 2010. évi állapotának adattáblája, az XL Pannon vízföldtani modell 2010-es verziója.

### **Az Országos Felszín Alatti Vízmegfigyelő Hálózat működtetése**

*Témavezető:* Rotárné Szalkai Á.

*A kutatás célja:* A MÁFI Országos Felszín Alatti Vízmegfigyelő Hálózata az ország legfontosabb régióiban (Alföld, Dunántúli-középhegység, Dunántúl, Pilis-Gerecse) szolgáltat információt a felszín alatti vizek mennyiségi állapotáról. A mennyiségi monitoring megfigyelések célja adatszolgáltatás az EU felé küldendő rendszeres jelentési kötelezettség teljesítéséhez a kijelölt 108 víztest állapotának és a változásoknak a jellemzéséhez.

*Előzmények:* A monitoring rendszer kialakítása az 1970-es években kezdődött, elsősorban a földtani alapfúrásokból kialakított megfigyelőkutak létrehozásával. Az 1980-as években a monitoring kutak száma a földtani térképezés során mélyített fúrások megfigyelőkutakká alakításával bővült, elsősorban a Kisalföld és a Szigetköz térségében. Az 1990-es években a bányabezárásokhoz kapcsolódva a Dunántúli-középhegység területén megszűnő bányavállalatoktól átvett megfigyelőkutak jelentették a megfigyelő-hálózat további bővítését. 2009-ben részt vettünk az NFÜ által meghirdetett meghívásos pályázaton (A Víz Keretirányelv végrehajtásához kapcsolódó monitoring rendszer fejlesztése, KEOP 2.2.2.), amelynek célja a MÁFI felszín alatti vízmegfigyelő hálózatának fejlesztése, az észlelőkutak felújítása, távadós vízszintregisztráló műszerrel történő felszerelése. A pályázat előkészítése során felmértük az észlelőkutak műszaki állapotát, illetve kidolgoztuk a távadós műszerek beépítésére, valamint a távadás biztosítására alkalmas, biztonságos kútfej tervét, meghatároztuk műszaki feltételeit. A „Déli-Bakony-Zalai-medence regionális hidrogeológiai modellje és a felszín alatti áramlás szimulációja” projekthez kapcsolódva mintaterületet alakítottunk ki, ahol a tervezett új kútfej-kialakítást, illetve a távadós mérési módszert teszteltük.

*A 2010. évben elvégzett feladatok:* Folytattuk az ország területét behálózó, mintegy 160 észlelőkútból álló vízföldtani megfigyelő-hálózat működtetését, és az adatok értékelését. Az észlelőhálózat 81 megfigyelőkútja továbbra is az EU Víz Keretirányelv (VKI) által megkövetelt jelentési monitoring rendszer részét képezte. A MÁFI megfigyelő-hálózata ily módon alapvető adatokat szolgáltat, mintegy kiegészítette a vízügy és a környezetvédelem víztermelésekhez és más objektumokhoz kapcsolódó megfigyelő-rendszereit. Az észlelési adatokkal folyamatosan bővítettük a vízszint adatokat tartalmazó MAVIZ adatbázist.

A működtetés magába foglalja az észleléseket, a mérések biz-

tosításához nélkülözhetetlen, saját forrásból elvégezhető kútkarbantartást, az adatfeldolgozást, valamint az adatszolgáltatást.

Az elmúlt évek gyakorlatának megfelelően 2010-ben is szolgáltatott a 2009. évi észlelési adatokat a megjelenő Vízrajzi Évkönyv számára.

*Együttműködő partnerek:* KvVM, VKKI, Kövizig-ek, Környezetvédelmi Felügyelőségek, Vituki.

*Termék:* Észlelési adatok adatbázisa, adatok szolgáltatása a Vízrajzi Évkönyv számára.

*Kapcsolódó pályázat:* Monitoring KEOP. Pályázatvezető: Rotárné Szalkai Á.

### **Szendioxid föld alatti elhelyezésének víztestvédelmi kutatásai**

*Témavezető:* Szűcs A.

*A kutatás célja:* A CO<sub>2</sub> mélységi víztárolókba történő betáplálási lehetőségeinek vizsgálata.

*Előzmények:* A nemzetközi elméleti és gyakorlati példák áttekintése más témákhoz kapcsolódóan megtörtént a korábbi években.

*A 2010. évben elvégzett feladatok:* A CO<sub>2</sub> mélységi víztárolókba történő betápláláshoz legalkalmasabb térszerek földtani, hidrogeológiai és vízgeokémiai feltételeit abból a szempontból értékeltük, hogy a VKI előírásainak megfelelően az érintett víztestek állapota nem romolhat. Ebben az évben feladatunk volt a potenciális mélybeli sós vizes tárolók elterjedésének felmérése szakirodalmi adatok alapján, továbbá a regionális vízgeokémiai értékelésekre kidolgozott módszertan áttekintése.

### **Szigetközi monitoring**

*Témavezető:* Scharek P.

1994 óta folyamatosan végrehajtott, a Duna magyarországi felső szakaszán végzett beavatkozásokkal érintett folyamszakasz mentén a felszíni víz – felszín alatti víz kapcsolatának dokumentálására és a földtani képződményekkel való viszonyuk meghatározására irányuló monitorozási munkálatokra (terveink ellenére) 2010-ben nem érkezett megbízás az illetékes Vidékfejlesztési Minisztériumtól.

### **GEOTERMIA**

A megújuló energiaforrások részarányának növelése mind a hazai, mind a nemzetközi energia- és klímavédelmi politika egyik kulcskérdése. Magyarország geotermikus adottságai kiemelkedők. A Pannon-medence nagy geotermikus rendszerei a földtani-szerkezeti egységekhez igazodva a határokon túli területekre is kiterjednek, így a felhasználók, döntéshozók számára az azok fenntartható gazdálkodásával kapcsolatos kérdésekre hiteles földtudományi információkon alapuló válaszokat csak a szomszédos országokkal közösen végzett kutatások alapján lehet adni.

### **T-JAM projekt**

*Projektvezető:* Nádor A.

*A projekt célja:* Közös hévízgazdálkodási terv elkészítése, ill. a geotermikus hasznosítások lehetőségének felmérése a Mura-

Zalai-medencében a szlovén-magyar határon átnyúló együttműködési program keretében.

*Előzmények:* 2009-ben elbírált EU-s pályázatunk annak az évnak öszén indult, a vizsgálatba bevont terület adatainak felmérésével és összegyűjtésével.

*A 2010. évben elvégzett feladatok:* A földtani térmodell építéséhez nagyszámú fúrás átértékelését végeztük el, amelyek alapján szeizmikus értelmezésekkel kiegészítve földtani felületeket állítottunk elő a vízföldtani modell számára az aljzatról, a miocén képződményekről és a legfontosabb pannóniai termálvízartó képződményekről. Szerkezetföldtani értelmezést végeztünk, egyeztetjük a felszíni földtani térképet a szlovén oldal adataival, és kialakítottuk a terület földtani térmodelljét. Vízföldtani, hőtani és vízgeokémiai adatok összegyűjtésével és rendszerezésével felépítettük a hidrogeotermikus adatbázist. Megmintáztuk, és meglemeztük 24 termálkút vizét (12 Szlovénia, 12 Magyarország), s vízföldtani modellezést végeztünk a területen. Folyamatosan frissítettük a projekt WEBoldalát.

*Együttműködő partnerek:* Fejlesztési Ügynökség Sinergija Kft., Szlovén Földtani Szolgálat, Nyugat-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Pomurje Régió Energetikai Ügynökség.

*Termék:* 3 nyelvű geotermikus adatbázis 257 fúrás adataival, földtani modell, koncepcionális vízföldtani, vízgeokémiai és geotermikus modell, jogi szabályozás áttekintése (jelentés). Zárójelentés.

### Transenergy projekt

*Projektvezető:* Nádor A.

*A kutatás célja:* A Ny-Pannon medence (Szlovénia, Ausztria, Magyarország és Szlovákia) határokkal osztott geotermikus erőforrásaival történő fenntartható gazdálkodás komplex szakmai megalapozása és a döntéshozók, jelen- és jövőbeli hasznosítók, felhasználók, potenciális befektetők számára egy web-alapú, interaktív döntéselőkészítő rendszer kialakítása.

*Előzmények:* A Közép-Európai Program, 3. prioritás: „A környezet felelős használata” keretében 2009-ben benyújtott pályázat sikeres elbírálását és a támogatási szerződés megkötését követően a projekt 2010. április 1-el indult (futamidő 36 hónap) (2CE124P3). A projekt vezetője a MÁFI.

*A 2010-ben elvégzett feladatok:* Projektvezetőként (WP1-projekt management) feladatunk a teljes projekt napi szintű szakmai és pénzügyi koordinációja, a megfelelő szerződések megkötése, kapcsolattartás a nemzeti (VÁTI), illetve teljes projekt szinten a bécsi központú Irányító Hatósággal (JTS), 6 havonként jelentéstétel. A projekt indulását követően megkötöttük a Támogatási szerződést és a Partnerségi megállapodást. Kidolgoztuk a projekt teljes körű működését szabályozó Projekt kézikönyvet, amelynek melléklete a partnerek közötti részletes feladatleosztás, határidők, elkészítendő termékek. Kialakítottuk a projekt management szerkezetet (Strategic Management Board), illetve felállítottuk a munkát függetlenül elbíráló, nemzetközi External Evaluation Board-ot. Júliusban benyújtottuk a projekt indítási követelményeinek megfelelését igazoló Start-Up-Report-ot, illetve ősszel az 1. Előrehaladási jelentést (ennek nemzeti szintű jóváhagyása megtörtént, JTS szintű jóváhagyása 2011 februárjában várható). Több ülést szerveztünk, ill. számos ülésen vettünk részt (Budapest, Bécs, Moravske Toplice, Graz, Prága).

A projekt eredményeinek terjesztése (WP-2) keretében közreműködünk a Kommunikációs Terv elkészítésében, ennek mellék-

letekként összeállítottuk a magyar kommunikációs partnerek (media és non-media) listáját (25 db), illetve a legfontosabb célcsoportok (stakeholderek) listáját (89 db). A projekt indításáról magyar sajtóközleményt adtunk ki. Elkészítettük a projekt szóróanyagát magyar és angol nyelven, illetve a projekt weboldal (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at>) magyar nyelvű változatát. A projekt célkitűzéseit és eddigi eredményeit 1 nemzetközi és 4 hazai konferencián mutattuk be, illetve ismertetőt írtunk az EGEC és IGA Newsletter-be. Megkezdjük egy promóciós TV film, illetve 2 tudományos ismeretterjesztő cikk elkészítését.

A hasznosítás felmérésének keretében (WP-3) kérdőíves felmérés során 15 magyar hatóságot (vízügyi és bányászati) kerestünk meg, és a megválaszolt kérdések alapján a magyar adatokat feltöltöttük a hatóságok adatait és legfontosabb tevékenységét összegző adatbázisba. A hasznosítók felmérése során összesen 273 termálvíz-hasznosítás legfontosabb adatait (termelés, hozam, hőmérséklet stb) összegeztük és ellenőriztük a területileg illetékes Vizig-ekkel és töltöttük be az adatokat a hasznosítási adatbázisba.

A projekt egyik kulcstermékeként elkészülő nemzetközi geotermikus adatbázis előkészítése kapcsán részt vettünk a metaadatkatalógus, az adatbázis standardeket, illetve az adatbázis szerkezetét kialakító munkában, illetve az ezeket összegző jelentések elkészítésében. A MS-Access formátumú adatbázisba megkezdjük az átértékelt, rendszerezett magyar adatok feltöltését (kb. 750 fúrás átértékelt földtani rétegsora és mintegy 2500 vízkutató fúrás különböző hidrogeológiai, vízgeokémiai adatai).

A modellezés munkacsomagban (WP-5) kidolgoztuk az egész feladatcsomag kézikönyvét, amely tartalmazza a különböző léptékű földtani, vízföldtani, és geotermikus modellek részletes ismertetését, ezek egymásra épülését, a modellezésekhez felhasznált hidrosztratigráfiai egységek lehatárolását, valamint a területek jelenlegi ismeretességét és a legfőbb megválaszolendő kérdések listáját is.

*Együttműködő partnerek:* Geologische Bundesanstalt (GBA-Ausztria), Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ-Szlovákia), Geološki zavod Slovenije (Geo-ZS-Szlovénia)

*Termékek:* Project Manual, Communication Plan, Authorities Questionnaire, Metadata inventory, Database standards, Database structure, Model manual).

### ThermoMap projekt

*Projektvezető:* Jordán Gy..

*A kutatás célja:* Felszínközeli geotermikus potenciál térképezése talajtani és talajvíz adatok alapján Magyarország területén.

*Előzmények:* A projekt 2010. szeptember 1-jén indult.

*A 2010-ben elvégzett feladatok:* Megszerveztük az első projektindító tárgyalást, ezen meghatároztuk a projekt megvalósításához szükséges feladatokat az első néhány hónapra, s előkészítettük a második, Bukarestben tartandó konferenciát. Kijelöltük a Magyarország területén vizsgálatra kerülő teszterületeket Budapesten, illetve a magyarországi agrogeológiai mintaterületeken.

*Együttműködő partnerek:* Friedrich-Alexander Universität, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Iceland Geo-Survey, Románia Földtani Intézete, British Geological Survey, European Geothermal Energy Council, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, REHAU AG. & Co., Gesellschaft beratender Ingenieure für Bau und EDV mbH & Co KG, Universität Salzburg, Otto-Friedrich Universität Bamberg.

*Termék:* A három évre tervezett projekt első eredményei 2011-ben várhatók.



## KÖRNYEZETFÖLDTANI KUTATÁSOK

### Geokémiai transzport modellezés

*Témavezető: Jordán Gy.*

*A kutatás célja:* Magyarország, illetve a Duna vízgyűjtő területére eső geokémiai térképek összegzése, illetve geokémiai modellezés végzése teszterületeken (Recsk, Ajka, Erzsébetbánya) a Bányászati Hulladékdirektíva magyarországi végrehajtásának segítésére.

*Előzmények:* Részben a MÁFI korábbi országos geokémiai térképezésére alapozva, részben új mintagyűjtések (Recsk, Erzsébetbánya) eredményeinek kiértékelésével, transzport- és receptorvizsgálatok feldolgozásával módszertani fejlesztést, a geokémiai folyamatok numerikus leírását, modellezését végezzük. Tevékenységünk az európai geokémiai kutatások rendszerébe illeszkedik, eredményeink az Európai Geokémiai Térképezés projektben, A Duna vízgyűjtő Geokémiai Atlasza projektben jelennek meg.

*2010. során elvégzett feladatok:* Magyarország, illetve a Duna vízgyűjtő területére eső geokémiai térképek összegzése és internet oldalra való fejlesztése.

*Együttműködő partnerek:* ICPDR

*Termék:* Európa Geokémiai Atlaszának, a Duna vízgyűjtő Geokémiai Atlaszának Magyarország területére eső térképei.

*Kapcsolódó pályázat:* „Összehasonlító vizsgálatok Magyarország és Marokkó területéről” (marokkói–magyar TÉT, témavezető: Jordán Gy.).

### Geokémiai transzport modellezés érzékeny vízgyűjtők szennyeződés kockázatvizsgálatára (Norvég Alap – OTKA projekt)

*Témavezető: Jordán Gy.*

*A kutatás célja:* A projekt célja a numerikus geokémiai transzport modellezés és kvantitatív szennyeződés kockázatelemzés új-szerű módszerének kidolgozása és tesztelése, mely az érzékeny vízgyűjtők természeti erőforrásainak tudományosan megalapozott és fenntartható gazdálkodását teszi lehetővé. 2010. évben a recski, az erzsébetbányai, illetve új területként az ajkai teszterületek geokémiai felvétele volt a cél.

*Előzmények:* A Norvég Alap – OTKA projekt az előző évek eredményeire alapozva folytatódott, különös tekintettel a Bányászati Hulladékdirektíva magyarországi végrehajtására.

*2010. során elvégzett feladatok:* Elkészült az erzsébetbányai és az ajkai teszterületek geokémiai felvétele és kiértékelése szennyeződésveszély, illetve kockázat tekintetében.

*Együttműködő partnerek:* USGS, Katholic University of Leuven, Miskolci Egyetem

*Termék:* Patakfordalék és bányászati hulladék minták gyűjtése és analízise, illetve eredmények értékelése, OTKA jelentés.

### Magyarország integrált geokémiai térképe

*Projektvezető: Fügedi U.*

*A projekt célja:* Magyarország egységes geokémiai térképeinek elkészítése a jobb internetes megjelenés céljából.

*Előzmények:* Az integrált geokémiai térképsorozat egységes adatbázisa jelenleg a FOREGS, Magyarország geokémiai atlasza és a hegyvidéki területek geokémiai felvétele programokban begyűjtött 2464 minta elemzéseit tartalmazza. Meghatároztuk az ország geokémiai nagytípusait, elsősorban a főkomponens-analízisek alapján.

*A 2010. évben elvégzett feladatok:* Ebben az évben az adatállományt újabb adatokkal, az eddig közzétett elemlistát újabb 4 elemmel bővítettük. Az ezek felhasználásával átszerkesztett térképeinket közzétettük az Interneten. Kiemelten foglalkoztunk a mállás problémájával, s újabb következtetéseket tettünk közzé a rudabányai terület ércesedéséről, illetve a magyarországi felszíni képződmények arzéntartalmáról.

*Termék:* Magyarország internetes megjelenítésű geokémiai térképei.

### Magyarország földtani értékei

*Témavezető: Szentpétery I.*

*A kutatás célja:* Magyarország földtani értékeinek meghatározása, kiválasztása, nyilvántartása a MÁFI alapító okiratában foglalt egyik legfőbb tevékenysége. Ennek keretében egy hosszú távon folyamatosan bővülő katalógus, illetve az Interneten hozzáférhető térképi adatbázis készül, melynek létrehozása, karbantartása a feladatunk. Megvizsgáljuk az OKIR-hoz való esetleges kapcsolódás lehetőségeit is.

*Előzmények:* Magyarország alapszélvényeinek hivatalos, a Magyar Rétegtani Bizottság által jegyzett nyilvántartása 2005-ben a KvVM-hez került.

A MÁFI Környezetföldtani Osztályán évekig zajlott a magyarországi alapszélvények, illetve földtani értékek dokumentálása. Ez az anyag csak részlegesen található meg.

*2010-ben elvégzett feladatok:* Az egykori KvVM-től másolatban visszakaptuk az alapszélvény-nyilvántartás adattábláit. Anyagi lehetőségeink ismeretében a MÁFI vezetésével egyetértésben úgy határoztunk, hogy a honlapon már elérhető 1:200 000-es országos földtani térképen megkíséreljük az alapszélvények helyét és valamennyi információt megjeleníteni. Az ehhez szükséges előkészítő munkálatok (az objektumok leválogatása, a közzétehető mennyiségű adatok kiválasztása, ellenőrzés) zajlottak 2010-ben. A térképnek ez a rétege jelenleg nem érhető el, Nagy Szabolcs, fiatal kollégánk váratlan halála miatt ezt a feladatrészt nem tudtuk megvalósítani.

Megállapodás született a KvVM utódja, a Vidékfejlesztési Minisztérium Barlang- és Földtani Osztályával a további munkákról (melyek megrendelésére és költségeinek viselésére szóbeli ígéretet kaptunk).

Jó készületi állapotban van annak a táblázatnak a fejléce, amely irodalmi adatokon és tapasztalatokon alapulva a földtani értékek intézeti nyilvántartását adja majd. Rendszeres szakmai egyeztetések folynak a végleges forma kialakításához. A belőle készülő adatbázis létrehozásához megkezdtek a különböző céllal és részletességgel elkészített, hasonló nyilvántartások összegyűjtését, a tartalmi és formai tervezést, a főbb értékelési szempontok meghatározását.

Szóbeli javaslatot tettünk arra, hogy Magyarország fűrési magmintái kerüljenek a földtani értékek közé, és kezelésüket ennek figyelembe vételével lehessen szabályozni.

### Agrogeológiai kutatások. A talaj-alapkőzet-talajvíz rendszer összefüggései

*Témafelelős: Kuti L.*

*A kutatás célja:* A talaj-alapkőzet-talajvíz, illetve talajképző üledék – ágyazati kőzet rendszer folyamatainak, a földtani és a biológiai közeg kapcsolatainak, összefüggéseinek kutatása, a

talajtani kutatások földtani megalapozása. Agrogeológiai információk átadása a gyakorlati mezőgazdaság számára, a témában jelentkező problémákra megoldások keresése, a földtani tényezők szerepének vizsgálata a tájtermesztésben és az agrárkörnyezetvédelemben. Rendszerezett adatbázis kialakítása az EU Talaj Keretirányelvhez kapcsolódó feladatokhoz.

*Előzmények:* Intézetünkben 1983 óta folytatjuk az agrogeológiai alap- és módszertani kutatásokat, melynek során többek közt a különféle termékenységátló tényezők, a mezőgazdasági katasztrófák, a talajdegradáció földtani okait kutatjuk. E kutatásaink kiterjednek a tájba illő mezőgazdaság, a területhasználat és a tájértékelés földtani megalapozására is. Alap és módszertani kutatásainkat döntően az agrogeológiai mintaterületek vizsgálatával végezzük. E feladat szerves része a talajvizek kémiaja változásának folyamatos nyomon követése különböző mezőgazdasági hasznosítású területeken. 1995 óta végzünk folyamatos észleléseket.

*A 2010. évben elvégzett feladatok:* Az év során megkezdtük az aszály és sivatagosodás földtani összefüggéseinek, a földtani környezetre (talaj-alapkőzet-talajvíz rendszer, vagy talaj-talajképző üledék - ágyazati kőzet rendszer) gyakorolt hatásának és a termőhelyeket módosító hatásainak a vizsgálatát. Elkészítettük „Az aszály földtani okainak vizsgálata” feladat kutatási tervét. Definiáltuk az aszály által veszélyeztetett és nem veszélyeztetett kőzetkifejlődési típusokat. Majd ezek és a talajvíztükör felszín alatti mélyégének kombinációjával kidolgoztuk a földtani tényezők okozta aszályveszélyeztetettség térkép jelkulcsát. Megszerkesztettük egy kiválasztott mintaterületre (Csongrád megye) a szükséges kiegészítő térképeket, azaz a legelső vízzáró képződményeinek felszín alatti távolságát, valamint a képződmények vastagságát, a talajvíztükör felszín alatti mélységét ábrázoló térképváltozatokat, illetve veszélyeztetettség térképet szerkesztettünk.

Folytattuk az agrogeológiai mintaterületeken telepített talaj-vízfigyelő kutak észlelését és mintázását, valamint a kapott adatok kiértékelését, az eredményekről előadásokon és publikációkban számoltunk be.

Elvégeztük a Balaton környéki szőlőgazdaságokba telepített kis mintaterületek adatainak adatbázisba rendezését. Megkezdtük az adatok feldolgozását. Néhány elemre mintatérképeket szerkesztettünk. Folytattuk az Abodi-mintaterület adatainak feldolgozását a terület agrogeológiai értékelését, és a szikes területek nitrogénforgalmának modellezését célzó munkáinkat.

Részt veszünk a EuroGeoSurveys 2008-ban kezdődött GEMAS (Európai Mezőgazdasági és Legelő Területek Geokémiai Térképezése) Programban (2008–2011), amely az Európa Bizottság illetve az Európai Bányászati Szövetség felkérésére indult.

*Együttműködő partnerek:* A GEMAS programban részt vevő európai földtani intézetek.

*Termék:* Az aszály földtani okainak vizsgálata feladat kutatási terve, a földtani tényezők okozta aszályveszélyeztetettség térkép jelkulcsa, veszélyeztetettség térkép.

## Településgeológia

*Témafelelős:* Szurkos G.

*A kutatás célja:* Az urbanizáció előretörésével egyre nagyobb jelentőségűvé válik a települések földtani adottságainak megfelelő szintű ismerete, mind a területfejlesztés (az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatása), mind pedig a környezet adta lehetőségek minél jobb kihasználása érdekében. Míg az elmúlt években e kérdéskört a nemzetközi gyakorlat is elsősorban a nagyvárosok esetében tartotta fontosnak (Magyarországon leginkább Budapest-

re koncentráltunk), addig újabban egyre égetőbbé válik a kisebb települések, illetve a speciális helyzetben lévő városok adottságainak megismerése is. Ezért célul tűztük ki a kistelepülések településgeológiai vizsgálati lehetőségeinek módszertani megalapozását (Putnok és Aggtelek települések mintáján), illetve az ipari szennyezéssel terhelt településen folytatható és folytatandó településgeológiai vizsgálatok lehetőségeinek kutatását Miskolc város településgeokémiai vizsgálataival.

*Előzmények:* A 2001-ben elkezdett budapesti településgeológiai térképsorozat 7 kerületre elkészült. A téma folytatása megfontolhatóvá teszi a budapesti kerületek Településgeológiai Atlasz-sorozatának kiadását.

*A 2010. évben elvégzett feladatok:* Elkészült Budapest IV. kerületének környezetföldtani térképsorozata, amely a kerület fedett és fedetlen földtani térképváltozatát, az ellenőrzött szennyeződéserzékenységi térképét, átszerkesztett építésalkalmassági térképeit tartalmazza. A munka során terepi bejárást, vízmintázást végeztünk, kiértékeljük ezek eredményeit, s a térképekhez magyarázót írtunk.

Befejeztük Budapest sekélyfúrás adatbázisának rendezését (kb. 30 000 fúrás) és a további átalakításhoz, fejlesztéshez történő előkészítését.

Aggteleken és Putnokon terepbejárást, talaj- és vízmintavételek történtek, jelenleg folyik a laboratóriumi vizsgálati eredmények kiértékelése. A miskolci mintaterületet a vizsgálandó térségek kiválasztásával készítettük elő.

*Együttműködő partnerek:* ELGI, az érintett települések önkormányzatai.

*Termék:* Budapest, IV. kerület településgeológiai térképsorozatának és magyarázójának kézirat.

## Európa Urbán Geokémiai Térképezése projekt

*Projektvezető:* Jordán Gy.

*A kutatás célja:* A projektet az EuroGeoSurveys Geokémiai Szakértőcsoportja irányítja a Norvég Földtani Intézet vezetésével. Az elkészített egységes terepi mintavétel módszertani leírásának alkalmazására a Norvég Földtani Intézet felajánlotta, hogy 10 európai nagyvárosban finanszírozza 500 minta teljes laborelemzését versenyzetetés alapján. Miskolc város bejutott a mintázásra kerülő városok közé.

*Előzmények:* A Norvég Földtani Intézet 2010-ben anyagi okok miatt visszalépett az európai projekt finanszírozásától. Ezért kisebb területen, az ajkai teszterületen gyűjtöttünk talajmintákat egyetemi hallgatók segítségével.

*2010. során elvégzett feladatok:* Terepi mintavétel és szakirodalmi áttekintés az ajkai teszterületre.

*Együttműködő partnerek:* ELTE

*Termék:* Terepi mintavétel és iptörténeti áttekintés.

## Az Ajkai Timföldgyár vörösiszap-tárolóinak komplex vizsgálata és megerősítésének tervezése

*Projektvezető:* Vatai J.

*A kutatás célja:* A kolontári iszapkatasztrófa nyomán az ideiglenes tározásra legalkalmasabb terület megkeresése, földtani, hidrogeológiai modell készítése, környezeti állapotfelmérés.

*Előzmények:* A 2010. október 4-én bekövetkezett katasztrófa következtében kialakult helyzetben elsőként a MÁFI munkatársai jelentek meg földtani szakemberként a területen, s az általuk

gyűjtött minták vizsgálati eredményei négy nap múlva már az Interetere kerültek. Ezután került sor a MAL Zrt. és a katasztrófavédelem megkeresésére, majd az ELGI-vel közösen kialakított feladatrendszer alapján történt szerződéskötésre.

*2010-ben elvégzett feladatok:* 2010-ben adatgyűjtés, terepi felvételezés, sekély és mélyfúrások, geofizikai mérések, helyszíni vizsgálatok, geokémiai mintavételezés történt. Elvégzett vizsgálatok: toxikusfém-elemzések talajból, talajvízből és az iszapból. Termikus vizsgálatok a talajból és az iszapból. Helyszíni szivárgásmérések. Őslénytani vizsgálatok. Az elkészült anyag a feladat 1. sz. részjelentéseként leadásra került a megbízó MAL Zrt. részére.

*Együttműködő partnerek:* ELGI, MTA GKKL, Geolog Kft.

*Termék:* Az elvégzett munkák részeredményeinek ismertetése több fórumon megtörtént előadások formájában. Elkészült az „Előzetes jelentés az ajkai vörösiszap-tározók környezetében végzett MÁFI munkákról”.

### **Ipoly projekt**

*Projektvezető:* Scharek P.

*A kutatás célja:* Az Ipoly folyó vízgyűjtő területére vonatkozó földtani, vízföldtani, geokémiai térképi adatbázis összeállítása külső megrendelésre.

*Előzmények:* A Magyar Állami Földtani Intézet 2010. május 21-én kapott megbízást a Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségtől, a Magyarország-Szlovákia Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007–2013 HUSK/0801/2.1.2/0162. számú projektje keretében, a kutatás-fejlesztési program eredményes végrehajtása érdekében a következő feladatok elvégzésére:

A földtani szerkezetre és felépítésre, a hidrogeológiai viszonyokra is kiterjedően, a rendelkezésre álló adatállományból, és a már befejeződött Danreg és Enwat projektek eredményeinek felhasználásával a projekt területére, azaz az Ipoly folyó vízgyűjtőjének területére vonatkozó teljes földtani, vízföldtani, geokémiai térképi adatbázist állítson össze, és az ezt tartalmazó digitális állományokat adja át a kialakítandó térinformatikai rendszerbe integrálásra közvetlenül alkalmas formában.

*2010-ben elvégzett feladatok:* A munka kezdeteként áttekintettük a Magyar Állami Földtani Intézet korábban önállóan vagy nemzetközi projektekben készült digitális térképi adatbázisait. A megrendelés után részt vettünk a magyar-szlovák egyeztetésekben és ezek alapján kiválasztottuk a téma és terület szempontjából alkalmas térképi tartalmakat (fdt\_100 és regio\_100 adatbázisok). Az egyeztetések alapján kialakult a mindegyik fél által használható file forma (ArcGIS) és koordináta rendszer. Anyagunkat ez alapján állítottuk össze. Alaptérképként a megrendelőtől kapott digitális anyagot használtuk.

Szlovákiai egyeztetésünk alapján látható volt, hogy földtani vonatkozásban nincs a szlovák félnek olyan digitális állománya, mely tematikában, jelkulcsban a miénknek közvetlenül megfelelő, ezért a csatlakozást nem tudtuk elvégezni. Összegyűjtöttük az ismert, különböző méretarányú földtani térképeket mind a szlovák, mind magyar oldalról. Ezeket képfájl-ként a megrendelőnek átadtuk, a jelentés részeként.

Hasonlóan összegyűjtöttük a rendelkezésünkre álló, Szlovákia területét is bemutató neotektonikai és geofizikai térképeket és mellékeljük jpg, ill. html formában. A területre vonatkozó adatokat az Ipoly vízgyűjtő területének természetföldrajzi összefoglalója c. fejezetben ismertettük.

*Együttműködő partnerek:* Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség, Cholnoky Jenő Kft., Zólyomi Műszaki Egyetem

*Termék:* Az Ipoly folyó vízgyűjtő területére vonatkozó földtani, vízföldtani, geokémiai térképi adatbázis.

### **KÖZSZOLGÁLATIFELADATOK**

Közszolgálati tevékenységünk keretében részben kutatási feladataink anyagvizsgálati, informatikai, szakirodalmi és összehasonlító gyűjteményi igényeit elégítjük ki, részben eleget teszünk intézetünk nemzeti közintézményi jellegéből adódó információszolgáltatási kötelezettségeink.

### **Országos Földtani Szakkönyvtár és Kiadványszerkesztőség**

*Vezető:* Piros O.

Az Országos Földtani Szakkönyvtár A 2010. évi tervben megfogalmazott elképzelésnek eleget téve a könyvtár a teljesség igényével gyűjtötte a Kárpát-medence földtani irodalmát, melyet állományába épített, megőrzött, feltárt és az olvasók kérésének megfelelően szolgáltatott. Szakirodalmi ellátást biztosított a Huntéka könyv adatbázisból, a GeoRef, CD-n megjelenő adatbázisából, az EISZ-en keresztül elérhető adatbázisokból, illetve az előfizetések révén hozzáférhető on-line folyóiratokból.

Kutatóink és olvasóink szakirodalmi ellátását segítjük olvasótermeinkben. Diákoknak segítséget nyújtunk témakeresésben, szakirodalmi kutatásban, bibliográfia összeállításban, a földtudományi szakirodalom megismerésében. Felhívjuk figyelmüket a módszeres irodalomkutatásra.

Közszolgálati feladatként a könyvtár muzeális anyagainak referálását végeztük a Mokka-R könyvtári program keretében (2010. évben 64 tétel Huntéka rendszerben).

2010-ben saját és társintézményeink (MÁFI, ELGI, MGSZ) munkatársain kívüli, külső olvasók száma 195 fő, ebből a budapesti és vidéki egyetemekre járók száma 126 fő. Az olvasók száma az előző évhez képest 20 fővel csökkent, de reméljük ez nem jelent tendenciát. A beiratkozott diák olvasóknak járó ingyenes másolt oldalak száma 1696.

Olvasótermünkben a helyben használt dokumentumok mennyisége 910 leltári egység és a kikölcsönzött dokumentumok száma közel 298 leltári egység.

Könyvtárunkhoz 191 írásos könyvtárközi kérés érkezett, melyet másolat vagy elektronikus, ill. postai küldés formájában teljesítettünk (607 oldal). A kérések száma csökkent. Mi 26 esetben kértünk segítséget.

Adatbázisainkban 68 fő részére 72 témakörben végeztünk keresést. A találatok száma 19 941 volt. A témakörök száma csökkent, a találatok száma nőtt, ami a céltudatosabb, szakszerűbb keresés következménye.

Az állomány védelme érdekében kutatóinknak, olvasóinknak 8049 oldalt másoltunk.

Az év folyamán 209 darabban emelkedett a könyvek száma, ezek közül 200 csere vagy ajándék, saját kiadvány 4, vétel 4 tétel volt. A folyóiratok közül 9 félélt volt lehetőségünk megrendelni az előző évi 26-hoz képest, ami jelentős, remélhetőleg átmeneti visszalépést jelent. A leltározott térképek száma 100 egységgel gyarapodott. A CD, DVD, videó-nyilvántartásba 17 új egységet jegyeztünk be.

A Hunteka adatbázisa 437 tétellel gyarapodott. A program frissítése után igyekeztünk a feldolgozás ütemét növelni. A rendszerben jelenleg kereshető dokumentumok száma: 13 914.

Aktualizáltuk számítógépes adatbázisainkat és a retrospektív állományellenőrzés folyamán javítottuk manuális katalógusainkat is.

A nyári zárás idején végzett leltári számsorrendi és személyi ellenőrzés folyamán 30 esetben pótoltuk a hiányzó állományt.

Cserés partnereink adatbázisát változó adataikkal frissítettük. 2010. év végén 477 partnerrel állunk cserés kapcsolatban. Az inaktív cserés partnerek miatt az adatbázis felülvizsgálata folyamatban van. Ebben az évben nem volt lehetőségünk az összes cserésnek kiküldeni az új kiadványokat, de a reklamásiakra 106 esetben postáztunk.

A duplum anyagokból áprilisban és november végén 3-3 napos vásárt rendeztünk, melynek során jelentős mennyiségű duplum anyagot értékesítettünk. Ezzel helyet nyertünk az új kiadványok elhelyezésére.

Az állományrendezés keretében az ideiglenesen az ebédlőben tárolt állományt a 17-es szoba zárt tárolórendszerébe helyeztük át.

Konferenciákhoz, földtani rendezvényekhez kötődően 10 alkalommal árusítottunk a könyvtáron kívül (pl. Nagykanizsa, Szeged, Pécs, Miskolc, Sopron stb.).

Az intézeti kiadványokat tartalmazó kiadványtárból 2534 db könyvet, 344 db térképet, és 48 CD-t értékesítettünk. A könyvek jelentős részét a 200 000-es atlasz kötetei tették ki.

Együttműködési munkaanyagként 628 könyv, 133 térkép, CD került kiadásra.

A földtani irodalom bemutatását 2010-ben is folytattuk. 38 bibliográfiai egységet küldtünk a GeoRef adatbázisa számára, eleget téve a szerződési kötelezettségünknek.

A Magyar Földtani Adatbázis, mely elérhető az intézet honlapjáról is, év végén 3029 rekordot tartalmazott.

*Együttműködő partnerek:* A földtani gyűjtőkörű könyvtárak. A könyvtár tagja a Könyvtárosok Egyesülete Műszaki Szekciójának.

Az évi rendszerességgel elvégzett munkákon kívül az intézeti kiadványokból, a Földvári-hagyatékból, a volt KBFI könyvállományából és a duplum-készleteinkből berendezett Rónai-terem állományát folyamatosan fejlesztjük, s az állományból a nem gyűjtőkörű és az elavult tételeket apasztás formájában selejteztük.

#### *Kiadványszerkesztés*

Megjelent A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008. 186 p. terjedelemben.

A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009. 378 p. terjedelemben.

Budai T., Gyalog L.: Magyarország földtani atlasza országjárónak (második kiadás angol) 276 p.

Budai T., Gyalog L.: Magyarország földtani atlasza országjárónak (német) 272 p.

Bárdossy Gy.: The Szőc bauxite deposits 126 p.

### **Országos Földtani Múzeum**

*Vezető: Kordos L.*

Az Országos Földtani Múzeum kérelmére 2005. augusztus 30-án egy év időtartamra ideiglenes működési engedélyt kapott a Nemzeti Kulturális Örökség Minisztériumától. Az előírt hiánypótlások igazolásával ellátott, a végleges engedély megadásához szükséges okmányokat 2008-ban megküldtük, majd az NMFI Kögyűjteményi Főosztálya 2010 októberében további adatokat és újraindított eljárást kért. Ugyanakkor 2010-ben a minisztérium részéről elrendelt szakfelületes vizsgálat, valamint annak felülvizsgálata is lezajlott.

A jegyzőkönyvek hiányosságokat nem tártak fel. További fejlemény, hogy 2010 októberében a Kulturális Örökségvédelmi Hivatal hivatalból eljárást kezdeményezett az Országos Földtani Múzeum állományának védetté nyilvánítása érdekében.

A gyűjtemény állománya az év során 3006 új leltári tétellel gyarapodott, és így a teljes leltári állomány 2010. december 31-én 184 280 tétel. A felújított Ariadne rendszerű számítógépes leltári nyilvántartás 10 953 tétellel gyarapodott. Az ország minden múzeumára érvényes természettudományi leltárkönyvek hiányában azokkal teljesen megegyező formátumú és tartalmú, hitelesített, számítógépen nyilvántartott és kinyomtatott leltározást végzünk. A gyűjteményi állomány kötelező tételes felülvizsgálata során elkészült az Ásvány-Teleptani gyűjtemény 28 szekrényre kiterjedő revíziója (2011-re 22 szekrény és a Rákóczi-bányán tárolt tételek revíziója maradt).

2010. július 15. és augusztus 13. között gyűjteményfejlesztési céllal az University of Toronto-val együttműködve ásatást végeztünk a rudabányai Hominida-lelőhelyen. Összesen 26 tétel Primates lelet került elő, közöttük a legfontosabb egy hím *Rudapithecus* combcsontja.

A Múzeum munkatársai tudományos tevékenységük keretében a rudabányai hominida lelőhely további feltárását és nemzetközi szintű feldolgozását, a süttöi édesvízi mészkő-összetétel korábban begyűjtött, különböző pleisztocén korú lelőhelyekről származó gerinces faunák feldolgozását és értékelését végezték. A tudománytörténeti kutatások kiterjedtek az intézet, a magyar geológia és bányászat történetére és néprajzára, az ásványok, kőzetek és ősmaradványok megjelenésére a népnyelvben és a néphagyományban ("népi geológia"); Jókai Mór és a geológia kapcsolatára; Herman Ottó munkásságára, valamint Versényi György életére és munkásságára. A Magyarhoni Földtani Társulat és az EMT (Kolozsvár) rendezvényein tudománytörténeti előadásokat tartottunk, s PhD-téma keretében archeometriai kutatásokat is végeztünk. Az intézeti külső megbízásokhoz kapcsolódva őslénytani, biosztratigráfiai szakvéleményeket készítettünk az M0-ás autótúlértékeléséhez, a horvátországi Popovac (Bán) és Beli Manastir (Pélmonostor) melletti feltárásokból, a Kolontáron mélyített kézifúrások, valamint az alcútdobozi és tarji minták mikrofaunájáról.

A gyűjtemény anyagának vizsgálata érdekében a tárgyévben 98 külföldi és 67 hazai kutató kereste fel a Múzeumot. Kölcsönzésre 27 esetben került sor. A fúrási magmintaraktárakban őrzött anyagok vizsgálatát 5 esetben igényelték (6 fúrás). Az intézetet és kiállításait 2854 fő látogatta meg (521 felnőtt, 515 diák és nyugdíjas, 723 fő diákcsoportban, valamint a nyitott napokon — Föld Napja, Kulturális Örökség Napja — ingyenesen 1095 fő). Iskolai ásvány- és kőzetgyűjteményt 2 igénylő iskolának adtunk át. A Múzeum szervezte és biztosította a MÁFI Dísztermének és Lábnyomos termékének használatát, hasznosítását (49 nap).

Kordos László, aki 2010. szeptember közepéig a MÁFI igazgatója is volt, augusztusban egyetemi tanári kinevezést kapott a köztársasági elnöktől, és 2010. szeptemberétől geográfus MSc hallgatókat tanít a Nyugat-magyarországi Egyetem szombathelyi természettudományi karán, továbbá diplomamunkák és PhD hallgatók témavezetője és külső konzulense a Debreceni Egyetemen és az ELTE-n.

A Múzeum munkatársai 2010-ben 12 ismeretterjesztő cikket írtak, 14 televízió és 16 rádió interjúban vettek részt. Kordos László 2010-ben átvette a Tudományos Újságírók Klubja által adományozott, az „Év ismeretterjesztő tudósa – a csillaggal”, valamint Borsod-Abaúj-Zemplén megye 2010. évi „Alkotói Díját”.

## Laboratóriumi szolgáltatás

Vezető: Bartha A.

2010-ben elvégzett anyagvizsgálati szolgáltatások: Közreműködés a MÁFI által vállalt külső szerződésekből (Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék elhelyezése; Kolontári vörösiszap-katasztrófa-hoz kapcsolódó megbízás; egyéb kisebb megrendelések); laboratórium saját külső szerződésai (39 darab külső megrendelő).

A kutatóink által elnyert OTKA és Tét pályázatok anyagvizsgálati feladatainak teljesítése.

2010-ben megrendelt és teljesített vizsgálatok:

Megnevezés	Igényelt	Elkészült	Áthúzó
	db		
Törés	1453	670	783
Kőzetkémia	2174	913	1261
Vizkémia	1768	1023	745
ICP-MS kőzet	335	303	32
ICP-MS víz	370	370	0
Hg kőzet	262	248	14
Hg víz	86	86	0
Szerves geokémia	182	182	0
Csiszolat készítés	157	151	6
Fázisanalízis	368	314	54
Szediment vizsgálat	589	535	54
Öslénytani előkészítés	108	108	0
Összesen	7852	4903	2949

Egyéb tevékenységek: Szekvenciális kioldások pontosságának növelése; mérési paraméterek optimalizálása ICP-OES és ICP-MS módszerekkel című témában folyamatosan végzünk elemzéseket és módszerfejlesztést több projekt számára is. (A talajvíz nagy arzén tartalmának eredete fiatal medencékben c. OTKA pályázat mintáinál, ill. a vörösiszap minták esetében is végzünk ilyen méréseket). Tovább folytattuk a Kárpát-medencei bentonittelepek ásványtani-geokémiai összehasonlító vizsgálatát. Kónya Péter folytatta a Balaton-felvidéki bazaltok üregkitöltő ásványainak (zeolit, szmektit, karbonátok stb.) ásványtani, geokémiai és genetikai vizsgálatát, és summa cum laude minősítéssel megvédte PhD címét.

Folytattuk az ICP-MS technika használatának kiterjesztését kőzetminták nyomelem-tartalmának közvetlen meghatározására lézeres elpárologtatással (lézer-abláció). A LA-ICP-MS mérések folytatódnak. Eolikus kavicsok sivatagi mázában a főelem-tartalmát, valamint egy diszkreditált szulfát ásvány (monsmedit) összetételét meghatároztuk ezzel a technikával. Folytatódtak a Mórágai Gránit mikroklinjeinek nyomelem mérései és ezek összehasonlítása más műszerek eredményeivel, valamint más kőzetalkotó ásványok (pl. piroxén, plagioklász) mérései is folyamatban vannak. Egy kísérletben is belekezdünk a LA-ICP-MS-sel, amelyet a jelenleg intézetünk hírnevét öregbítő Kántor Tibor (a magyar spektroszkópia egyik legnevesebb szakembere) vezet. Célja, hogy lézerablációs feltétellel ne csak zárt cellában, hanem levegőn lévő, a mintatartó méreteit meghaladó mintákat is tudjunk mérni. Eredményeinkről több alkalommal beszámoltunk hazai és nemzetközi konferenciákon.

Részt veszünk a „Nanoezüst bevonatú csípőprotézis vizsgálata állatmodellen” című kutatásban (a Semmelweis Egyetemmel közös projekt). Feladatunk állati szövetminták ezüsttartalmának meghatározása. Ez a kutatás folytatódik ebben az évben is. Folyamatosan végezzük a laboratóriumi vizsgálatok eredményeinek

értelmezését és feldolgozását az Intézet projektjeinek igényei alapján, valamint a laboratóriumi vizsgálatok reambulációs feldolgozását, adatbázisba rendezését.

„A talajvíz nagy arzén tartalmának eredete fiatal medencékben c. OTKA” pályázat mérésekkel, módszerfejlesztésekkel és értékelésekkel folytatódik.

Tovább folytatódik a szerves geokémiai laboratóriumban a víz- és talajminták szerves szennyező anyag tartalmának mérése akkreditált módszerekkel, mind intézeti projektek, mind külső megrendelők felé.

Folyamatosan végezzük vakcinák mérését Hg- és Al-tartalom meghatározásra az Omninvest megrendelésére.

A British Geological Survey (BGS) számára rendszeresen végzünk higanyelemzéseket talaj-, ill. folyami hordalék mintákból.

A laboratórium dolgozói részt vesznek a „Geokémiai transzport modellezés érzékeny vízgyűjtők szennyeződés kockázatvizsgálatára” című Norvég Alap – OTKA projektben. Módszertani fejlesztéseket, elemzéseket végeznek, publikációkban működnek közre.

A kolontári katasztrófával kapcsolatban az első perctől kezdve aktívan részt veszünk a vörösiszap minták elemzésében, értékelésében. Együttműködtünk a munkák során a USGS szakembereivel.

A laboratórium évi akkreditáltsági státuszát 2010-ben megkaptuk. Legközelebbi felülvizsgálat: 2011. január 25-én esedékes.

Három Tét pályázatot adtunk be még 2009-ben. Vietnami-magyar pályázatunk címe „A magyarországi és a dél-vietnami arzénos vizek hidrogeológiájának, genetikájának összehasonlító vizsgálata”; kínai-magyar pályázatunk címe „A bányászati meddőhányókban és környező talajokban található nehézfém-szennyezés mobilitásának geokémiai mikrobiális vizsgálata labor tesztekkel és modellezéssel. Kutatás az ásványi nyersanyagkitermelés környezeti megalapozásához”; marokkói-magyar pályázatunk címe „Nehézfém mobilitás térbeli modellezése bányászati vízgyűjtőkben az Európai Unió és szomszédai különböző klimatikus területein. Összehasonlító vizsgálatok Magyarország és Marokkó területéről”. Mindhárom pályázatunk 2010. december 31-én elbírálás alatt állt.

*Együttműködő partnerek:* A MÁFI kutatási egységei, anyagvizsgálati feladataik megvalósítása érdekében; a Földtani OTKA Műszerközpont tagintézetei (ELTE, SZE, Vituki Zrt., Atomki, MTA FKK GKL); Debreceni Egyetem Ásvány-Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem Izotópkémiai Tanszék, Szegedi Egyetem Ásványtani Geokémiai Tanszék, ELGI, GKL, Bálint Analitika, Smaragd Kft., Hydrosys Kft., BGS, USGS.

A Laboratórium munkatársai egyetemen oktattak (Debreceni Egyetem); egyetemi hallgatók számára előadásokat és laborbemutatókat tartottak (ELTE, Miskolci Egyetem, Budapesti Műszaki Egyetem); pályázatokat bíráltak, folyóiratcikket lektoráltak, részt vettek különböző szakmai szervezetek vezetőségi munkájában.

A laboratórium munkatársainak 9 publikációja jelent meg 2010-ben folyóiratokban; 1 cikk pedig benyújtásra került. Elkészült 1 könyvfejezet. 14 előadással, ill. poszterrel szerepeltek hazai és nemzetközi konferenciákon, melyek absztraktja megjelent a kiadványokban. További 14 absztrakt nélküli előadást tartottak munkatársaink.

## Informatikai szolgáltatás

*Témavezető: Turczai G.*

*A munka célja:* Az intézet általános informatikai feladatainak koordinálása, az informatikai rendszer üzemeltetése, fenn tartása.

*Előzmények:* Minden évben megjelenő általános feladatok folytatása.

**A 2010. év során is elvégzett feladatok:**

— Rendszeradminisztráció: az intézet informatikai infrastruktúrájának felügyelete, szervezése.

— Üzemeltetési szolgáltatások: a mafi.hu tartomány, levelezés, Intranet, Internet, vírusvédelem stb. folyamatos üzemeltetése.

— Technikai eszközszolgáltatások: speciális eszközökkel végzett szolgáltatások (nyomtatás, szkennelés, adatmentés).

— Szoftveralkalmazás szolgáltatások: a rendelkezésre álló szoftverek, alkalmazások segítségével elvégzett adatfeldolgozás.

— Megoldás szolgáltatások: egy adott probléma teljes körű megoldása, technológia kidolgozása és értéknövelt adatok szolgáltatása.

— Termékszolgáltatás: kartografált térkép, kiadvány és adatbázis előállítás.

— Módszertani munkák, belső oktatás.

— A megoldás és termékszolgáltatások eredményeire a szakmai projektjelentések hivatkoznak.

*Együttműködő partnerek:* MÁFI osztályok.

*Termék:* Működő infrastruktúra, térképek, adatbázisok – ez utóbbi kettőre a szakmai projektek hivatkoztak.

## IRÁNYÍTÁS, OKTATÁS, KÜLKAPCSOLATOK

*2010-ben elvégzett feladatok:* Az év rendkívüli volt a MÁFI életében, mivel számos olyan változás, átalakítás zajlott az intézet körül és magában az intézményben, amelyek mindegyike jelentős hatással volt nemcsak a 2010. évi, hanem a későbbiekben folytatandó tevékenységre is.

2010. január 1-jével a MÁFI szervezeti besorolása megváltozott, az irányítás a Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztériumtól a Környezetvédelmi Minisztériumhoz került. E változtatásnak indoka és célja az volt, hogy az a jelentős környezet- és vízföldtani tevékenység, amelyet intézetünk végez, nagyobb támogatást kapjon a témagazda minisztériumtól. Költségvetési támogatásunk azonban nem nőtt a változás után, viszont számos új problémával kellett megküzdenünk, amelyek közül az egyik legfontosabb az addig a Magyar Bányászati és Földtani Hivatalhoz (MBFH) rendelt gazdálkodási feladatok átvétele, új Gazdasági Igazgatóság kialakítása volt. Így kezdtük el az éves munkát, azonban a tavasszal lezajlott választások után az új kormányzat visszahelyezte a MÁFI-t a korábbi függelmi rendszerbe, s az újonnan megalakult Nemzeti Fejlesztési Minisztériumot jelölte ki irányítónak. Ez a kitérő negatív színben tüntette fel az intézmény MBFH-hoz való viszonyát, ami a későbbiekben számos kellemetlen következménnyel járt. A visszaszervezés miatt Kordos László igazgató lemondott, s rövid interregnum után a miniszter előbb az általános igazgatóhelyettest, Chikán Gézát, majd 29 nappal később Fancsik Tamást, az ELGI igazgatóját bízta meg az igazgatói feladatok ellátásával. Ezzel egyidejűleg megkezdődtek az előkészületei az intézet radikális átalakításának.

Az intézmény irányítása, szerteágazó szakmai és gazdasági tevékenységének koordinálása, eredményességének biztosítása, kapcsolatrendszerének fenntartása az igazgatóság feladatköre. E feladatok magukban foglalták az igazgatási, titkársági, intézeti adminisztrációs feladatok ellátását, a szakmai és gazdasági tervezést, a minőségirányítást, a humánpolitikát és munkaügyet, a hazai és nemzetközi kapcsolatok koordinálását.

**Gazdasági szakmai irányítás**

Kiemelkedően fontos a kutatási feladatok magas színvonalú teljesítéséhez szükséges feltételek, a költségvetési előirányzatok optimális felhasználásának biztosítása. Az intézet gazdasági, szakmai irányításának legfontosabb feladatai a következők voltak: a 2009. évi költségvetési beszámoló elkészítése (az MBFH Gazdasági Főosztályával közösen) a 2009. évről szóló beszámolók megtartása és értékelése, a 2010. évi gazdasági feladatok ellátása, a 2010. évi kutatási feladatok végrehajtásának segítése, a 2011. évi költségvetési tervezés. Pénzügyi téren a legnehezebb feladat a fizetőképesség folyamatos megőrzése volt. Sajnos, a visszafogott költségvetési támogatás nem tette lehetővé, hogy egyensúlyunkat megtartsuk. Ehhez hozzájárult az is, hogy nemzetközi pályázataink finanszírozása elmaradt az ütemezettől, valamint az, hogy a szakmai piac stagnált, így tervezett külső bevételeink nem valósultak meg, s így az első félév végén nyilvánvalóvá vált, hogy működésünkhöz további forrásokra van szükség. Ekkor kezdeményeztük a fenntartónál pótlólagos források megadását, amire november folyamán került sor, addigra azonban az intézetről kialakult meglehetősen negatív vélemény erős ellenszélnek bizonyult. Hiába terjesztettünk elő jogszabálytervezeteket, illetve javaslatokat, az Új Széchenyi Tervhez csatlakozó szakmai koncepciót; végül a minisztérium és az MBFH segítségével sikerült az évet jelentős megszorítások mellett befejeznünk.

A MÁFI számtalan résztevékenységéből összeálló működése mindemellett folyamatos és eredményes volt. Munkatársaink a nehézségek ellenére is megpróbálták folyamatosan végezni szakmai feladataikat, mind a tervben vállalt feladatok, mind a pályázatok terén, s az országos jelentőségű, szakmai vetületű eseményeket is figyelemmel kísérték, illetve részt vettek megoldásukban. Elsőként vettek mintákat és közöltek elemzési eredményeket a kolontári vörösiszap-katasztrófa után, az október 4-én bekövetkezett iszapömlés anyagának első elemzési eredményei október 8-án már a MÁFI honlapján szerepeltek, s az év hátralévő részében is folytatták a területen a munkát.

2010-ben kiemelt feladat volt a felügyeleti változás miatt az új Alapító Okirat kiadásában való közreműködés, az új Szervezeti és Működési Szabályzat elkészítése. Mire e dokumentumok elkészültek, ismét változott a függelmi rendszer, így a második félév során fel kellett készülnünk újabb dokumentumok összeállítására, ami az ősz folyamán részben meg is történt.

A Gazdasági Igazgatóság látta el január 1-jétől a gazdálkodással összefüggő feladatokat, a Titkárság gondoskodott az utasítások,

A MÁFI bevételei és kiadásai 2010-ben

Bevétel (eFt)		Kiadás (eFt)	
Támogatás	306 823	Személyi	353 018
Intézményi működési bevétel	244 708	Tb	97 628
Támogatásértéktű működési bevétel	133 139	Dologi	196 103
Támogatásértéktű felhalmozási bevétel	3 049	Egyéb kiadások	11 377
Előző évi maradvány átvétele	585	Beruházás	6 431
Kölcsönök	1 200	Kölcsönök	1 200
Működési célú pénzeszköz átvétele áht-n kívülről	17 980		
Egyéb működési célú pénzeszköz átvétel	22 102		
Egyéb felhalmozási célú pénzeszköz átvétel	40		
<b>Összesen</b>	<b>726 577</b>	<b>Összesen</b>	<b>665 757</b>

A 2010-es végleges pénzügyi beszámoló előtti adatok.

körlevelek, tájékoztatók kiadásáról, a kézbesítésről, postai szolgáltatásokról és az irattározásról is. A központi szolgáltatások közül kiemelendő az egészségügyi ellátás biztosítása, a jogi képviselet ellátása, a központi gyorsmásoló üzemeltetése, a büfé működtetése. Ez utóbbi szolgáltatás az ősz folyamán felszámolásra került.

#### *Minőségirányítás*

Az Intézet 2001 óta minőségirányítási rendszer keretében szabályozza földtani kutatási és közszolgálati tevékenységét, valamint mindezeknek a minőségre alapvetően kiható folyamatait. Ennek keretében a rendszer alapdokumentuma a Minőségirányítási Kézikönyv, mely a 2010. év folyamán is aktualizálásra került. A 2006-ban megújított és auditált MSZ EN ISO 9001:2001 szabvány szerint minősített rendszerünk 2010-ben is időközi auditálásra került, mely sikeres volt.

#### *Humán erőforrás-gazdálkodás*

Folyamatosan karbantartottuk a MÁFI közalkalmazottainak személyi adatait tartalmazó adatbázisait, személyi anyagokat. A nyilvántartási programok adatfeltöltését és karbantartását folyamatosan végeztük. Teljesítettük az Intézet negyedéves, illetve havi és a soron kívül előírt statisztikai adatszolgáltatási kötelezettségeit a KSH felé. Elkészítettük a dolgozók által igénybe vett szabadságok nyilvántartását, illetve igazoltuk és nyilvántartottuk a jogosultak részére a munkába járással kapcsolatos utazási költségeket. Biztosítottuk a munkatársaink részére az 50%-os vasúti igazolványok érvényességének meghosszabbítását. Előkészítettük a béremelések, az egyszeri támogatások, a jubileumi jutalmazottak személyügyi anyagait. Eleget tettünk az MBFH és a Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium által kért adatszolgáltatási kötelezettségeinknek. Folyamatosan módosítottuk a közalkalmazottak kinevezéseit a személyi adatok változásainak megfelelően, alkalmazva és korszerűsítve a munkajogi előírásoknak eleget tevő okmányokat. Biztosítottuk a szükséges tanulmányi-, vagy fizetés nélküli szabadság igénybevételét a külföldi kiküldetésekhez, tanulmányutakhoz, munkavégzéshez, eleget téve a Kollektív Szerződésben foglaltaknak. A Kollektív Szerződés előírásait betartva intéztük a munkabér, illetve illetményelőleg felvételezését, vezetve az ezzel kapcsolatos nyilvántartást az MBFH Bércsoportjával közösen. A megszerzett állami nyelvvizsgákat követően módosítottuk az érintettek kinevezési okmányait.

2010. évben a „Földtani Intézetért Emlékérem” díjazottja *Dr. Chikán Géza* és az év novemberében váratlanul elhunyt *Nagy Szabolcs* volt.

#### *Az emlékérmek indoklásai:*

*DR. CHIKÁN GÉZA:* Az elmúlt évek legnehezebb és legbizonytalanabb időszakában, személyes ambícióit félretéve vállalta el az intézet vezetését, miközben mind igazgatóhelyettesként, mind igazgatóként megtette azokat a lépéseket, amelyek hozzájárultak az intézet viszonylagos stabilitásának megőrzéséhez. Tette mindezt reménytelen helyzetben, önzetlenül, nem a pozíciót, hanem mindvégig az intézet érdekeit szem előtt tartva.

*NAGY SZABOLCS:* Intézetbe lépése és tragikus halála között eltelt szűk két évben kiemelkedő szaktudásával, precíz, gyors munkájával, hatékony probléma-megoldó képességével járult hozzá a MÁFI stratégiai teradatbázisainak építéséhez, az adatbázisból levezethető kartografált térképek előállításához. Különösen jelentős a szerepe a WEB alapú térképszolgáltatás újraszervezésében.

Az év során az engedélyezett létszám 119 fő volt.

#### *Oktatási tevékenység*

Az intézet 2010-ben is biztosította az ELTE Regionális Földtani Tanszék működésének feltételeit. Az intézet kutatói folytatták aktív oktatói tevékenységüket az alábbi oktatási intézményekben: ELTE, Miskolci Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Debreceni Egyetem, Pécsi Egyetem, Szegedi Egyetem, Szent István Egyetem, Berzsenyi Dániel Főiskola. Számos esetben került sor iskolai csoportoknak tartott intézeti bemutatóra.

#### *Nemzetközi tevékenység*

A MÁFI a 2010. évben a korábbi évek gyakorlatának megfelelően folytatta nemzetközi tevékenységét, azaz elsősorban az egyes projektek szintjén születtek a döntések nemzetközi pályázatokban és rendezvényeken való részvételtől, közös témák kidolgozásáról, tanulmányutak szervezéséről. Folytattuk munkánkat az EuroGeoSurveys-ben.

#### *Pályázatok*

A 2010. évi költségvetési és szakmai terv teljesítésében a korábbi éveknek megfelelően jelentős szerep jutott a hazai és külföldi pályázatoknak. E pályázatok nemcsak a kutatók szakmai felkészültségének elismerései, hanem a MÁFI tudományos munkájának, nemzetközi elismerésének fontos mérői is. Kiemelkedő jelentőségű volt az intézet részvétele a T-Jam, Transenergy, EuroGeoSource és ThermoMap európai uniós pályázatokban, s a nehézségek ellenére az OTKA és a T&T pályázatokon is jelentős munka folyt.

#### *A Magyar Állami Földtani Intézet 2010-ben megjelent kiadványai:*

A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008. — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 186 p.

A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009. — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 378 p.

BUDAI TAMÁS, GYALOG LÁSZLÓ (szerk.): Magyarország földtani atlasza országjáróknak (második kiadás angol). — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 276 p.

BUDAI TAMÁS, GYALOG LÁSZLÓ (szerk.): Magyarország földtani atlasza országjáróknak (német). — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 272 p.

HAAS JÁNOS (főszerk.), BUDAI TAMÁS, CSONTOS LÁSZLÓ, FODOR LÁSZLÓ, KONRÁD GYULA (szerk.): Magyarország prekainozoos földtani térképe 1:500 000. — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.

## A MAGYAR ÁLLAMI FÖLDTANI INTÉZET MUNKATÁRSAI 2009-BEN

### Az Intézet vezető beosztású munkatársai

Kordos László Dr.	igazgató
Halmi János Dr.	igazgató általános helyettese 2010. január 31-ig
Chikán Géza Dr.	2010. február 1-től, mb. igazgató 2010. szeptember 16 és október 14 között
Fancsik Tamás dr.	mb. igazgató 2010. október 15-től
Nádor Annamária Dr.	stratégiai és nemzetközi kapcsolatok igazgatóhelyettes
Hatvani Istvánné	gazdasági igazgató
Csonka Ágnes	humánpolitikai vezető
Bartha András Dr.	osztályvezető
Jordán Győző Dr.	osztályvezető 2010. április 1-jétől
Kuti László Dr.	osztályvezető 2010. március 31-ig
Maros Gyula Dr.	osztályvezető
Piros Olga Dr.	osztályvezető
Szőcs Teodóra Dr.	osztályvezető
Turczi Gábor Dr.	osztályvezető
Vukánné Tolnai Judit	minőségirányítási vezető

### Az Intézet munkatársai

Ádámné Incze Szilvia	Hatvani Istvánné	Péterdi Bálint
Albert Gáspár Dr.	Hegyiné Rusznyák Éva	Petrócziné Gecse Zsuzsanna
Angyal Jolán	Héjjas János	Rezessy Attila
Árvay Gábor	Hermann Viktor	Rotárné Szalkai Ágnes
Babinszki Edit	Hlogyik Józsefné	Sárkány Lászlóné
Balázs Regina	Horváth Zsolt	Scharek Péter Dr.
Balla Zoltán Dr.	Jerabek Csaba	Selmeczi Ildikó Dr.
Ballók Istvánné	Jordán Győző Dr.	Sikhegyi Ferenc Dr.
Balóné Lehmayer Judit	Jordánné Szűcs Andrea	Simon Lászlóné
Barczikayné Szeiler Rita	Katona Gabriella	Simonyi Dezső
Bátori Miklósné	Kercsmár Zsolt Dr.	Solt Péter
Beke Barbara	Király Edit dr.	Dr. Sonfalviné Szeibert Ildikó
Beke Zsuzsanna	Klement László	Szabadosné Sallay Enikő
Bertalan Éva Dr.	Kókai András	Szabó Árpádné
Branner Lászlóné	Koloszár László Dr.	Szabó Lászlóné
Brezsnyánszky Károly Dr.	Komlós Lászlóné	Szalka Edit
Budai Ferenc	Kónya Péter Dr.	Szegő Éva
Budai Tamás Dr.	Koroknai Balázs Dr.	Szekér András
Chikán Géza Dr.	Kovács Pálffy Péter Dr.	Szentpétery Ildikó Dr.
Csillag Gábor Dr.	Kutasi Géza	Szlepák Tímea
Demény Krisztina	Laczkóné Óri Gabriella	Szurkos Gábor
Don György	Lajtos Sándor	Tamás Gábor
Dudás A. Imre	Lantos Zoltán Dr.	Thamóné Bozsó Edit Dr.
Farkas Juszitina	Magyari Árpád Dr.	Tihanyiné Szép Eszter
Fenesi Ferenc	Maigut Vera Dr.	Tóth György
Fodor László Dr.	Marsi István Dr.	Tóthné Makk Ágnes Dr.
Földvári Mária Dr.	Matyikó Mónika	Treszné Szabó Margit
Fügedi Péter Ubul Dr.	Melisek Szilvia	Tullner Tibor Dr.
Galambos Csilla Dr.	Muráti Judit	Ujháziné Kerék Barbara Dr.
Gál Nóra Edit Dr.	Müller Tamás	Vad Altanceceg
Gáspár Anita	Nagy Péter	Varga Renáta
Gellér Péterné	Németh András	Vargáné Barna Zsuzsanna
Göcz István	Novák Brigitta	Vatai József
Gulácsi Zoltán	Orosz László	Váczi Blanka
Gyalog László Dr.	Pálfi Éva	Végh Hajnalka
Gyuricza György Dr.	Palotás Klára	Vikor Zsuzsanna
Hála József Dr.	Papp Péter	Zsámbok István
Dr. Hála Józsefné	Partényi Zoltánné	
Hartyányi Zita	Pentelényi Antal	



## A Magyar Állami Földtani Intézet 2010. évi publikációs tevékenysége

### Nyomtatásban megjelent munkák 2010

- ALBERT G. 2010: A budapesti Pál-völgyi-barlang üreg- és pórus-térfogatának modellezése. — *Földtani Közöny* 140 (3), pp. 263–279.
- ALBERT G. 2010: Ahol a kő homokká és a homok újra kővé válik...: Geológiai expedíció a Líbiai sivatagban. — *A Földgömb* 12 (1), pp. 36–45.
- BADA G., SZAFIÁN P., VINCZE O., TÓTH T., FODOR L., SPIESS, V., HORVÁTH F. 2010: Neotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagyfelbontású szeizmikus mérések alapján. — *Földtani Közöny* 140 (4), pp. 367–389.
- BADICS, B., SAJGÓ, Cs., VETŐ, I., UHRIN, A., BARTHA, A. 2010: Makó Trough basin-centered gas accumulation: Myth or reality? Investigated by a 3D basin modelling study. — In: PÁL-MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010.* GeoLitera, Szeged, pp. 30–32.
- BALLA, Z. 2010: The Monzonite Centre and Folds in the Mórággy Granite Pluton (SW Hungary). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 65–81.
- BALLA Z. 2010: Monzonitos centrum és redők a Mórággyi Gránit-testben. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 83–89.
- BALLA, Z., HORVÁTH, I. 2010: Loess accumulation and Valley Development on the Mórággy Block (South Transdanubia, Hungary). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 127–141.
- BALLA Z., HORVÁTH I. 2010: Löszfelhalmozódás és völgyfejlődés a Mórággyi-rögön. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 143–147.
- BREZSNYÁNSZKY, K. 2010: Cuicuilco piramisának pusztulása, Kr. u. 150–200. — *História*, 32 (4), p. 17.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: A Föld Bolygó Nemzetközi Éve. A jövőnkéről szólt „A Föld Bolygó Nemzetközi Éve”. — *Klíma-barát Hírlével* 7 (március). <http://klimabarat.hu/node/194>
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Izland egy halálos hasadék fölött fekszik. — *Interjú, Vasárnapi Bors, 2010. április 18.*, Tudomány-Teknika rovat. (Készítette: TÖRÖKH.), pp. 14–15. <http://www.borsonline.hu/news.php?izland-egy-halalos-hasadék-folott-fekszik&op&hid=28967>
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Lemeztektonika–vulkanizmus–élővilág. Vulkanok több millió évvel ezelőtt. — *História* 32 (4), pp. 7–9.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Változások a Kárpát-medence területén. Eltűnik a Pannon-síkság. — *168 Óra Online*, 201. Június 22. Riport (Készítette: Ács Ferenc) <http://www.168ora.hu/tudas/eltunik-a-pannon-siksag-57064.html>
- BREZSNYÁNSZKY K., SZARKA L. 2010: „A Föld Bolygó Nemzetközi Éve” időszerűsége. — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 8–11/04/2010.* Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Cluj, pp. 10–14.
- BREZSNYÁNSZKY K., SZARKA L. 2010: A Föld Bolygó Nemzetközi Éve nézőpontja. — *Klíma-barát Hírlével* 8 (április), <http://klimabarat.hu/node/205>.
- BREZSNYÁNSZKY K., SZARKA L., HAAS J. 2010: Beszámoló a Föld Bolygó Nemzetközi Éve hazai eredményeiről. — *Földtani Közöny* 140 (2), pp. 197–198.
- BREZSNYÁNSZKY K., SZŐCS T., TÓTH Gy. 2010: A „Magyar–szlovák határ menti közös felszín alatti víztestek környezetállapota és fenntartható használata” projekt és legfontosabb eredményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 123–127.
- BUCUR, I., COCIUBA, I., CSÁSZÁR, G., KOCH, R., NOWAK, M., SASARAN, E. 2010: Development of Lower Cretaceous deposits from Bihor-Padurea Craiului unit (Apuseni Mountains, Romania). Comparisons with Villány region in Hungary. — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, pp. 59–60.
- BUDAI T. 2010: Gánt, Bányatelep. Középső-triász, Veszprémi Formáció Hajdúvágási Tagozat. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010 Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 41–42.
- BUDAI T. 2010: A Vértes-hegység földrajzi helyzete és földtani felépítése. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 33–36.
- BUDAI T., HAAS J., PIROS O. 2010: Újabb adatok a Pilis triász képződményeinek földtani és őslénytani ismeretéhez. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010 Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 8–9.
- BUDAI T., GYALOG L. (szerk.), ALBERT G., CHIKÁN G., CSILLAG G., HORVÁTH A., KERCSMÁR Zs., KOLOSZÁR L., KONRÁD Gy. KORBÉLY B., KORDOS L., KOROKNAI B., KUTI L., PELIKÁN P., PRAKFAI P., SELMECZI I., ZELENKA T. 2010: *Magyarország földtani atlasza országjáróknak — Geological Map of Hungary for Tourists, 1:200 000.* — 2. javított és bővített kiadás. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 275 p.
- BUDAI T., GYALOG L. (szerk.), ALBERT G., CHIKÁN G., CSILLAG G., HORVÁTH A., KERCSMÁR Zs., KOLOSZÁR L., KONRÁD Gy. KORBÉLY B., KORDOS L., KOROKNAI B., KUTI L., PELIKÁN P., PRAKFAI P., SELMECZI I., ZELENKA T. 2010: *Magyarország földtani atlasza országjáróknak — Geologischer Atlas von Ungarn für Touristen, 1:200 000.* — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 272 p.
- CHIKÁN G. 2010: Beszámoló a Magyar Állami Földtani Intézet 2009. évi tevékenységéről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 9–38.
- CHIKÁN, G., HEĆIMOVIĆ, I. 2010: Borderless geology: Geological Maps of Drava territory — In: HORVAT, M. (ed.): *4. Hrvatski geoloski kongres s međunarodim sudjelovanje. Knjiga sazetka = 4. Croatian Geological Congress. Abstracts Book, Šibenik, Croatia, 14–15/10/2010.* Hrvatski geoloski institut, Zagreb, pp. 364–365. (CD-ROM)
- CSÁSZÁR G. 2010: Eperjes-hegyi tanösvény, Olaszfalu, Bakony. Felfelé kapszkodás egy jura tengeralatti lejtőn. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből.* Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 68–73.
- CSÁSZÁR G. 2010: Harsány-hegyi köfejtő, Nagyarsány, Villányi-hegység. Szarvalakú kagylók birodalma. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből.* Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 88–92.
- CSÁSZÁR G. 2010: Templom-hegyi tanösvény, Villány, Villányi-hegység. Jura ammonitesz-temető. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből.* Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 78–82.

- CSÁSZÁR G. 2010: A Vértes hegység mezozoos földtani felépítésének vázlatja. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010 Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 36–37.
- CSÁSZÁR, G., GAWLICK, H.-J. 2010: Jurassic to Early Cretaceous sediments of the Transdanubian Range, Hungary — a unique tectonic unit within the Alpine-Carpathian system and its palaeogeographic provenance. — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, pp. 81–82.
- CSÁSZÁR G., HARANGI SZ. 2010: Márévíri-völgyi tanösvény, Mecsek. Kréta atoll a Mecsekben. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 83–87.
- CSÁSZÁR G., PIROS O. 2010: Pusztavám, Homoktisztási kőfejtő (Jágerakasztó), Felső-triász, Dachsteini Mész-kő Formáció; kréta, Tési-Környei Formáció. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010 Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 43–46.
- CSÁSZÁR, G., WAGREICH, M., MICHALIK, J. 2010: Introduction to the WG project on correlation of Mesozoic Lithostratigraphic units of the CBGA area. — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, p. 82.
- CSILLAG, G., SEBE, K., NÉMETH, K. 2010: Geomorphic environment of the maar volcanism in the Balaton Highland. — In: NÉMETH, K. (ed.) 2010: *New Advances in Maar-Diatreme Research in Hungary, Germany and New Zealand. Results and Perspectives. International Maar Workshop, Tapolca, Hungary, 13–15/08/2010*. Németh Károly kiadása, Balatonlelle, pp. 81–86.
- CSILLAG G., SZTANÓ O., MAGYAR I., HÁMORI Z. 2010: A Kállai Kavics települési helyzete a Tapolcai-medencében geoelektromos szelvények és fúrás adatok tükrében. — *Földtani Közöny* 140 (2), pp. 183–196.
- CSILLAG G., FODOR L., SEBE K., MÜLLER P., RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., THAMÓNÉ BOZSÓ E., BADA G. 2010: A szélérozió szerepe a Dunántúl negyedidőszaki felszínfejlődésében. — *Földtani Közöny* 140 (4), pp. 463–481.
- CSILLAG, G., RUSZKICZAY-RÜDIGER, ZS., BRAUCHER, R., FODOR, L., DUNAI, T. J., BADA, G., BOURLÉS, D., MÜLLER, P. 2010: Dating aeolian landforms using cosmogenic <sup>10</sup>Be in Hungary, Central Europe. — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, p. 83.
- CSONTOS, L., POCSAI, T., SASVÁRI, Á., PALOTAI, M., ÁRGYELÁNBAGOLY, G., FODOR, L. I., MAGYARI, Á., AL-WARDI, M. 2010: Structural evolution of the Hawasina Window, Oman Mountains. — *GeoArabia* 15 (3), pp. 85–124.
- CSUHANICS B., JORDÁN GY., FÖLDESSY J., SZAKÁLL S. 2010: A parádsasvári polimetallikus ércesedés környezetgeokémiai vizsgálata. — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 8–11/04/2010*. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Cluj, pp. 29–33.
- DUDICH E., HÁLA J. 2010: Emlékezés Pellérdy Lászlónéra. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 49–50.
- FEKETE J., SAJGÓ CS., HORVÁTH I., KÁRPÁTI Z. 2010: Hévízeink szerves és szervesen fűtése. In: PÁL-MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010*. GeoLitera, Szeged, pp. 15–18.
- HAAS J. (főszerk.), BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L., KONRÁD GY. *Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010*. GeoLitera, Szeged, pp. 56–58.
- FODOR, L. 2010: Fault-related folds and along-dip segmentation: examples from Libya and Hungary. — In: LUDWINIAK, M., KONON, A., ŻYLIŃSKA, A. (eds): *8th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group (CETeG-8), Gory Swietokrzyskie, Poland, 22–25/04/2010. Conference Proceedings*. Warsaw University, Faculty of Geology and Polish Geological Institute, National Research Institute, Warsaw, pp. 59–60.
- FODOR, L. I., MÁRTON, E. 2010: Combination of paleostress and paleomagnetic data: case studies from the Pannonian Basin. — *Annual Meeting of the Tectonics Studies Group (STG) for 2010, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham, 6–8/01/2010*, p. [24.] <http://www.tectonicstudiesgroup.org.uk/files/tsg%202010.pdf>
- FODOR, L. I., OKAY, A., ÖZCAN, E. 2010: Origin and deformation of the Thrace Basin: constraints from fault-slip analysis. — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, pp. 112–113.
- FÓRIZS I., DEÁK J., LORBERER Á., TÓTH GY., SZABÓ V., HALAS, S. 2010: A víz és a széndioxid eredete a Budapest környéki termális karsztvizekben. In: PÁL-MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010*. GeoLitera, Szeged, pp. 59–60.
- FŐZY I., PRICE, G., PÁLFY J., JANSSEN, N. M. M., KNAUER J. 2010: Cephalopodák és izotópgörbék: fél évszázaddal ezelőtt begyűjtött jura-kréta faunák vizsgálatainak eredményei. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, p. 11.
- FÜGEDI U., SZENTPÉTERY I., VATAI J. 2010: Adalékok a rudabányai ércesedés genetikájához: a martonyi mintaterület geokémiai vizsgálata. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 105–113.
- FÜGEDI, U., SZENTPÉTERY, I., CHIKÁN, G., VATAI, J. 2010: The Rudabánya-Martonyi mineralisation: possible geochemical reconstruction. — *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 5 (2), pp. 81–88.
- GAÁL G., BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Kell egy új OPNI-ügy? — *Népszabadság* 2010. szeptember 3., Fórum rovat, p. 15.
- GYALOG, L., TÖRÖK, P. 2010: Drilling of Boreholes in the Frame of the Underground Exploration and their Geological Logging in the Bataapáti Site. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 203–227.
- GYALOG, L., TÖRÖK, P. 2010: A felszín alatti kutatás fúrásainak mélyítése és földtani dokumentálása a Bataapáti-telephelyen. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 229–244.
- GYALOG, L., FÜRI, J., BORSODY, J., MAROS, GY., PÁSZTOR, SZ. 2010: A bataapáti vágatok földtani dokumentálása. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 323–330.
- GYALOG, L., FÜRI, J., BORSODY, J., MAROS, GY., PÁSZTOR, SZ. 2010: Geological Mapping of the Bataapáti Tunnels. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 305–322.
- HAAS J., BUDAI T., TULLNER T. 2010: Magyarország új medencealjzat térképe. Szerkesztési elvek, alkalmazási lehetőségek. — In: PÁL-MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010*. GeoLitera, Szeged, pp. 15–18.

- 2010: *Magyarország pre-kainozoos földtani térképe = Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1:500 000.* — Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Budapest. (nyomtatott változat)
- HAAS J. (főszerk.), BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L., KONRÁD GY. 2010: *Magyarország pre-kainozoos földtani térképe = Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1:500 000.* — Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Budapest. (domborváltózat)
- HAAS, J., PELIKÁN, P., GÖRÖG, Á., OZSVÁRT, P., JÓZSA, S., KÖVÉR, SZ. 2010: Subduction-related Jurassic gravity deposits in Bükk-Darnó Area, Northeast Hungary). — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, pp. 150–151.
- HAAS, J., PELIKÁN, P., GÖRÖG, Á., OZSVÁRT, P., JÓZSA, S., KÖVÉR, SZ. 2010: Subduction related Jurassic gravity deposits in Bükk-Darnó Area, Northeast Hungary. — In: CHRISTOFIEDES, G. [et al.]: *Proceedings 19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010.* — *Scientific Annals of the School of Geology. Special Volume* 100. (General Sessions G11), pp. 149–156.
- HAAS, J., PIROS, O., BUDAI, T., GÖRÖG, Á., MANDL, G. W., LOBITZER, H. 2010: Transition Between the Massive Reef-Backreef and Cyclic Lagoon Facies of the Dachstein Limestone in the Southern Part of the Dachstein Plateau, Northern Calcareous Alps, Upper Austria and Styria. — *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* 65, pp. 35–56.
- HÁLA J. 2010: Alkotók – tárgyak – értékek – zsűri. Szakmai nap a Hagyományok Házában. — *Néprajzi Hírek* 39 (3), p. 34.
- HÁLA J. 2010: Emlékezés Gyarmathy Zsigánéra. — *Néprajzi Hírek* 39 (3), pp. 43–52.
- HÁLA J. 2010: Hermann Antal és a cigányság néprajzi kutatása. — In: DEÁKY, Z., NAGY, P. (szerk.): *A cigány kultúra történeti és néprajzi kutatása a Kárpát-medencében. A Bódi Zsuzsanna emlékére rendezett történeti-néprajzi konferencia előadásai, Gödöllő, 18–20/02/2009.* — *Cigány Néprajzi Tanulmányok* 15, pp. 76–95.
- HÁLA J. 2010: Pongrácz Lajos és leírása a Baradla-barlangról. — *Gömörország* 11 (1), pp. 19–21.
- HÁLA J. 2010: Selmeczi Kovács Atila: Elfeledett magyar mesterségek és népélet. [Könyvismertetés]. — *Honismeret* 38 (2), p. 102.
- HÁLA J. 2010: Sportbál Alagon. A néprajz „ágense” a „magyar Newmarketben”. — *Dunakeszi Helytörténeti Szemle* 3 (1), pp. 14–15.
- HÁLA J. 2010: Versényi György, a magyarországi bányászfolklor kutatója. — In: BALI, J., BÁTI, A., KISS, R. (szerk.): *Inde surum – inde vinum – inde salutem Paládi-Kovács Attila 70. születésnapjára.* ELTE BTK Tárgyi Néprajzi Tanszék, MTA Néprajzi Kutatóintézet, Budapest, pp. 210–224.
- HÁLA J., LANDGRAF I. 2010: *Magyarországi bányászmondák.* — Érc- és Ásványbányászati Múzeum Alapítvány, Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Bányászattörténeti Múzeum, Rudabánya. 2. változatlan kiadás, 124 p.
- HÁLA J., MÁTÉ GY. 2010: Rövid hírek. Tudósítások. — *Néprajzi Hírek* 39 (3), pp. 84–96.
- HÁLA J., PAPP P. 2009: Ťazba ívolitej bridlice a jej využitie v Uhorsku. — In: KRÁL', J. (ed.): *Bridlice — čierny marmor v stredns Európe.* — *Zborník príspevkov z odborného seminára s medzinárodnou účasťou, Spolok Permon, Marianka, 2009* (3–4), pp. 54–57.
- HÁLA J., G. SZABÓ Z. 2010: „Dudásoknak, kanászoknak közbüül, közibül...”. *A dudáról és dudásokról az ipolysági kanászhangverseny századik évfordulója alkalmából.* — Timp Kiadó, Budapest, 144 p.
- HEĆIMOVIĆ, I., MARSI, I., BANAK, A., CHIKÁN, G., FERÍC, P., GRIZELJ, A., HORVAT, M., KOLOSZÁR, L., MAGYARI, Á. 2010: Correlation of Quaternary and Tertiary sediments of Drava-valley at Sellye–Slatina Sheet, scale 1:100 000 (Korelacija kvartarnih i terciarnih sedimenata doline Drave sa lista Sellye–Slatina, M 1: 100 000). — In: HORVAT, M. (ed.): *4. Hrvatski geoloski kongres s medunarodim sudjelovanje. Knjiga sazetka = 4. Croatian Geological Congress. Abstracts Book, Šibenik, Croatia, 14–15/10/2010.* Hrvatski geoloski institut, Zagreb, pp. 369–370. (CD-ROM)
- HORÁNYI A., TAKÁCS Á., FODOR L. 2010: Üledékföldtani és szerkezetföldtani megfigyelések a Gorba-hát keleti lejtőjén („Gyökér-völgy”, Nyugati-Gerecse). — *Földtani Közöny* 140 (3), pp. 223–234.
- HORVÁTH É., JORDÁN GY., FÜGEDI U., BARTHA A., KUTI L., KALMÁR J., VALDMAN I., NAPRADEAN I., DAMIAN G., HELTAI GY. 2010: Bányászati eredetű szennyezések vizsgálata erdélyi esettanulmány kapcsán. — *53. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Hajdúszoboszló, 30/06–02/07/2010.* O44.
- JÁMBOR Á. 2010: A „felső riolituffa” magyarországi előfordulásainak általános földtani jellegei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 63–85.
- KÁNTOR T., BERTALAN É., KIRÁLY E., BARTHA A. 2010: Lézerablációs cellák újabb fejlesztése ICP-MS elemzésekhez. — *53. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Hajdúszoboszló, 30/06–02/07/2010.* O28.
- KERCSEMÁR ZS. 2010: Árkipusztá, Antal-hegy ÉK-i előtere. Középső-eocén, késő lutéciai Csernyei Formáció. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010 Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 47–48.
- KERCSEMÁR ZS. 2010: Az É-i Gerecse eocén rétegsora a legújabb kutatások tükrében. — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 8–11/04/2010.* Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Cluj, pp. 148–153.
- KERCSEMÁR ZS. 2010: Gánt, Bányatelep, Bagoly-hegy. Középső-eocén, késő lutéciai – kora-bartoni Fornai Formáció, Kincsesi Formáció. Tavi és lagúna üledékek a vértesi paleomorfológiai magaslat hátterében. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010 Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 56–60.
- KERCSEMÁR ZS. 2010: Korallzátany kifejlődések az Északi Vértés középső-eocén rétegsorában. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 15–16.
- KERCSEMÁR ZS. 2010: Paleogén medencefejlődés és üledékképződés a Vértés hegységben. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 37–40.
- KERCSEMÁR ZS. 2010: Tatabánya, Kálvária-hegy, kőfejtő. Középső-eocén bartoni Szóci Mészke Formáció Sűrűhegyi Tagozat, Felsőgallai Tagozat. Középső-eocén sziklás tengerpart, valamint korall-alga foltzátany és nummulitesz-zátanydomb a Vértés É-i részén. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 51–55.
- KERCSEMÁR ZS., BUDAI T. 2010: Geológiai kislexikon. — In: BUDAI T., GYALOG L. (szerk.): *Magyarország földtani atlasza országjáróknak* — *Geological Map of Hungary for Tourists,*

- 1:200 000. 2. javított és bővített kiadás. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, pp. 233–245.
- KERESZTURI, G., CSILLAG, G., NÉMETH, K. 2010: Breaching of Degradated Scoria Cone of Western Hungary: Syn- or Post-Eruptive Origin? — *Cities on Volcanoes 6th Conference, Puerto de la Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain, 31/05/2010–04/06/2010*, p. 22.
- KERESZTURI, G., CSILLAG, G., NÉMETH, K., SEBE, K., BALOGH, K., JÁGER, V. 2010: Volcanic architecture, eruption mechanism and landform evolution of a Plio/Pleistocene intracontinental basaltic polycyclic monogenetic volcano from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. — *Central European Journal of Geosciences* 2 (3), pp. 362–384.
- KERESZTURI, G., CSILLAG, G., NÉMETH, K., SEBE, K., BALOGH, K., JÁGER, V. 2010: Volcanic architecture, eruption mechanism and landform evolution of a Plio/Pleistocene intracontinental basaltic polycyclic monogenetic volcano from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, p. 185.
- KIRÁLY, E. 2010: Magmatic Evolution of Mórággy Granite (SE Transdanubia, Hungary). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 41–55.
- KIRÁLY, E. 2010: A Mórággyi Gránit magmás fejlődéstörténete. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 57–63.
- KIRÁLY, E., CHENERY, S., BARTHA, A., BERTALAN, E., DOBOSI G. 2010: LA-ICP-MS measurements on K-feldspar megacrysts of Mórággy granite, Hungary. — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010—Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series 6*, p. 506.
- KISS, G., MOLNÁR, F., BARTHA, A., PALINKAS, L.: 2010: Submarine volcanism-related hydrothermal alteration in the Darnó and Szarvaskő Units (NE Hungary), and in the Dinarides and Hellenides. — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010—Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series 6*, p. 538.
- KOLOSZÁR, L. 2010: The thickest and the most complete loess sequence in the Carpathian basin: the borehole Udvari-2A. — *Central European Journal of Geosciences* 2 (2), pp. 165–174.
- KOLOSZÁR L., MARS I. 2010: A Kárpát-medence legvastagabb és legteljesebb löszrétegsora: Az Udvari-2A fúrás szelvénye és kvarter rétegtani jelentősége. — *Földtani Közönlöny* 140 (3), pp. 251–261.
- KONRÁD GY., KORDOS L., SEBE K. 2010: Danitz-pusztai homokbánya, Pécs, Mecsek. Őslényvadászat a Pannon-tó peremén. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 160–165.
- KONRÁD, GY., SEBE, K., HALÁSZ, A., BABINSZKI, E. 2010: Sedimentology of a Permian playa lake: the Boda Claystone Formation, Hungary. — *Geologos* 16 (1), pp. 27–41.
- KÓNYA, P., SZAKÁLL, S. 2010: Occurrence and chemistry of natrolite group zeolites from Bakony-Balaton Highland Volcanic Field (West Hungary). — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010—Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series 6*, p. 52.
- KÓNYA P., KOVÁCS-PÁLFFY P., KOZÁK M., VAMOS M., PÜSPÖKI Z. 2010: Bentonitos telepocsoport sűrűn lakott védendő műemléki környezetben. — *HUNGEO 2010. Magyar Földtudományi Szakemberek X. Világtalálkozója. A HUNGEO tudományos és oktatási program keretében. Régiók – Határmentiség – Peremterületek, Szombathely, 14–19/08/2010. Előadáskivonatok*, pp. 42–43.
- KORDOS L. 2010: Előszó. — In: FUTÓ J.: *Geológus Emlékpark Seregélyesen*. Seregélyesi Általános Iskola Alapítványa, Seregélyes, p. 5. (Pelikán füzetek 5.)
- KORDOS L. 2010: Előszó. — In: SZÉKELY K. (szerk.): *Kadic Ottokár a magyar barlangkutatás atyja. Önéletrajz*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 191 p.
- KORDOS L. 2010: Evolúcióról, az emberré válásról – Darwin emlékezve. — In: SZABÓ P., SÜTŐ Cs. A. (szerk.): *Kétszáz éve született Charles Darwin (1809 – 2009)*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Győr, p. 77–91.
- KORDOS L. 2010: A Földtani Intézet és a magyar barlangkutatás. — *100 éves a szervezett magyar barlangkutatás, Budapest, Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 07–09/05/2010. Előadás összefoglalók*, pp. 30–31.
- KORDOS L. 2010: A genetika közbeszól — félre léptek őseink? Ismét és nem utoljára a Neander-völgyiekről. — *História* 32 (5), pp. 2–5.
- KORDOS L. 2010: Igazgatói előszó. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 7–8.
- KORDOS L. 2010: Igazgatói előszó. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, p. 7.
- KORDOS L. 2010: Kedves Hódi Tóth József [Vitában Kordos professzorral; válasz]. — *Interpress Magazin (IPM)* 30 (12), pp. 9–11.
- KORDOS L. 2010: Levél Herman Ottónak, születésének 175. évfordulóján. — *Természet Világa* 141 (4), pp. 171–172.
- KORDOS L. 2010: Vértesszőlősi Természetvédelmi Terület. Színre lép az ember — nyomok a jégkorszaki édesvízi mészkőben. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 186–189.
- KORDOS L., REICH GY. 2010: A Duna (vízrajzi és földtani ismertető). — In: GYUKICS P., KORDOS L., REICH GY., TÓTH E., HERBERT T.: *A Duna hídjai: A Fekete-erdőtől a Fekete-tengerig*, Yuki Sudió, Budapest, pp. 10–13.
- KOROKNAI, B. 2010: Upponyi szoros, Upponyi-dombság. A paleozoikum tengerének átalakult üledékei. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 18–21.
- KOROKNAI, B. 2010: Velem, Szent Vid-hegy; Bozsok, Kalapos-kő; Sopron, Vöröshídi-kőfejtő; Uppony, Upponyi szoros. — In: BUDAI T., GYALOG L. (szerk.): *Magyarország földtani atlasza országjáróknak — Geological Map of Hungary for Tourists, 1:200 000*. 2. javított és bővített kiadás. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, pp. 102–103; 106; 184.
- KOROKNAI, B., GERDES, A., KIRÁLY, E., MAROS, GY. 2010: A Mórággyi Gránit kora és eredete: új LA-ICP-MS U-Pb és Hf izotóp adatok. — *Első Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony, 11–13/06/2010*, pp. 20–21.
- KOROKNAI, B., GERDES, A., KIRÁLY, E., MAROS, GY. 2010: New LA-SF-ICP-MS U-Pb and Lu-Hf isotopic constraints on the age and origin of the Mórággy Granite (Mecsek Mountains, South Hungary). — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010. — Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series 6*, p. 506.
- KOROKNAI, B., MAROS, GY., KOVÁCS-PÁLFFY, P., KÓNYA, P., VICZIÁN, I., BALOGH, K., PÉCSKAY, Z. 2010: Origin and timing of brittle shear zones in the Mórággy Granite (Hungary):

- mineralogy and K-Ar geochronology of illite-rich fault gouges. — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010*. — *Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series 6*, p. 622.
- KOVACS M., FÜLÖP A., COOK N. J., KOVÁCS-PÁLFFY P., PÉCSKAY Z. 2010: Magma mingling and mixing as key processes in the petrogenesis of the Laleaua Albă Neogene composite igneous complex, Gutâi Volcanic Zone, Northern Romania. — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010* — *Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series 6*, p. 522.
- KOVÁCS-PÁLFFY P., FÖLDESSY J., KÓNYA P., BERTALAN É. 2010: Bentonite deposits of Hungary — a review of their mineralogy and geology. — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010* — *Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series 6*, p. 308.
- KÖVÉR SZ., FODOR L. I. 2010: K-white mica thermo-barometry, conodont colour alteration index and vitrinite refelction: methods to distinguish nappes in a complex diagenetic to low-grade metamorphic nappe pile. — *Annual Meeting of the Tectonics Studies Group (STG) for 2010, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham, 6–8/01/2010*, pp. [46–47.]  
<http://www.tectonicstudiesgroup.org.uk/files/tsg%202010.pdf>
- KUTI L. 2010: Fülöpházai tanösvények, Kiskunsági Nemzeti Park. Buckák és tavak – a szemünk előtt zajló geológiai folyamatok színterei. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 191–194.
- LESS GY., ÖCZAN, E., BÁLDINÉ BEKE M., KOLLÁNYI K., OKAY, A. I., FODOR L., PÁLFALVI S. 2010: A Trák-medence eocén fejlődéstörténete új mikropaleontológiai adatok alapján. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadaskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 17–18.
- LUKÁCS R., HARANGI SZ., RADÓCZ GY., KÁDÁR M., PÉCSKAY Z., NTAFLÓS, T. 2010: A Miskolc–7, Miskolc–8 és Nyékládháza–1 fúrások miocén vulkáni képződményeivel. — *Földtani Közlemény 140* (1), pp. 31–51.
- MAGYARI Á., MARSÍ I. 2010: Indications of neotectonic activity of Late Pleistocene terrestrial sediments in the middle part of the Danube valley. — In: HORVAT, M. (ed.): *4. Hrvatski geoloski kongres s međunarodim sudjelovanje. Knjiga sazetka = 4. Croatian Geological Congress. Abstracts Book, Šibenik, Croatia, 14–15/10/2010*, Hrvatski geoloski institut, Zagreb, pp. 397–398. (CD-ROM)
- MAGYARI Á., MARSÍ I. 2010: Indications of Pleistocene Geomorphic Processes in the Middle Part of the Danube Valley. — *International Workshop on Loess Research and Geomorphology, Pécs, Magyarország, INQUA Loess Focus Group & Carpatho-Balkan Geomorphological Commission, 17–21/10/2010. Book of Abstracts*, p. 19.
- MAGYARI Á., MARSÍ I., GALOVIC L. 2010: Pleisztocén szárazföldi üledékek fáciesváltozásai Ilok (Újlak, Szlavónia) térségében és azok korrelációja a Dél-Dunántúl lösz szelvényeivel. — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 8–11/04/2010*. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Cluj, pp. 154–155.
- MAGYARI Á., NÁDOR A., TÓTHNÉ MAKK Á., BABINSZKI E., JÁMBOR Á., JUHÁSZ GY., KERCSMÁR ZS., MARSÍ I., MURÁTI J., THAMÓNÉ BOZSÓ E., UNGER Z., TULLNER T. 2010: Az Alföld negyedidőszaki medencefejlődése – eredmények, megoldandó feladatok és kérdések. — In: PÁL-MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010*. GeoLitera, Szeged, pp. 21–22.
- MAROS, GY., KOROKNAI, B., PALOTÁS, K., MUSITZ, B., FÜRI, J., BORSODY, J., KOVÁCS-PÁLFFY, P., KÓNYA, P., VICZIÁN, I., BALOGH, K., PÉCSKAY, Z. 2010: Brittle Fault Zones in the Mórággy Granite (South Transdanubia): New Structural and K–Ar Data. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 91–112.
- MAROS GY., KOROKNAI B., PALOTÁS K., MUSITZ B., FÜRI J., BORSODY J., KOVÁCS-PÁLFFY P., KÓNYA P., VICZIÁN I., BALOGH K., PÉCSKAY Z. 2010: Törészónák a Mórággyi Gránitban: új szerkezeti és K–Ar-adatok. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, pp. 113–126.
- MINDSZENTY A., FODOR L., SZARKA A., ALMÁSI I., MONOSTORI M., KÁZMÉR M., SZTANÓ O. 2010: A Gánt környéki bauxit kulféjtések földtana. — In: PALOTAI M (szerk.): *Geológiai kirándulások Magyarország közepén*. — Hantken Kiadó, Budapest, pp. 174–224.
- MONTAGNA, G., BIGI, S., KÓNYA, P., SZAKÁLL, S., VEZZALINI, G. 2010: Chabazite-Mg: a new natural zeolite of the chabazite series. — *16th International Zeolite Conference joint with the 7th International Mesosstructured Materials Symposium, Sorrento–Naples, Italy, 04–09/07/2010. Book of Abstract*, p. 122.
- MONTAGNA, G., BIGI, S., KÓNYA, P., SZAKÁLL, S., VEZZALINI, G. 2010: Chabazite-Mg: A new natural zeolite of the chabazite series. — *American Mineralogist* 95 (7), pp. 939–945.
- NAGY E., BAGOLYNÉ ÁRGYELÁN G., RÁLISCHNÉ FELGENHAUER E., SIEGLNÉ FARKAS Á. 2010: A Mecsek hegység felső-triász képződményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 87–103.
- NÁDOR A. 2010: Működési jelentés. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 9–47.
- NÁDOR A., LAPANJE, A., UHRIN A., PALOTÁS K., SELMECZI I., FODOR L., TÓTHNÉ MAKK Á., MURÁTI J., SZÓCS T., JELEN, B., KOROKNAI B., NAGY SZ., KUMELJ, S., BABINSZKI E., ÁDÁMNÉ INCZE SZ., SZABADOSNÉ SALLAY E., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., MAROS GY. 2010: Határon átnyúló hévízföldtani értékelés és közös termásvíz-gazdálkodási terv megalapozása a Mura-Zala-medencében. — In: PÁL-MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010*. GeoLitera, Szeged, pp. 86–87.
- NÉMETH, K., CRONIN, S. J., HALLER, M. J., BRENNAN, M., CSILLAG, G. 2010: Modern analogues for Miocene to Pleistocene alkali basaltic phreatomagmatic fields in the Pannonian Basin: “soft-substrate” to “combined” aquifer controlled phreatomagmatism in intraplate volcanic fields. — *Central European Journal of Geosciences* 2 (3), pp. 339–361.
- ŐSI A., RABI M., KORDOS L., FITOS A. 2010: A gerecsei krokodil: a legteljesebb Stenosaurus (Thalattosuchia: Teleosauridae) maradvány az alpi liászából. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadaskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 20–21.
- PALINKAS L., KOVÁCS S., MOLNÁR F., HAAS J., JÓZSA S., †DOSZTÁLY L., GULÁCSI Z., KISS G., KÖVÉR S., OZSVÁRT P., MIKES T., HALAMIC J., HRVATOVIC H., SUDAR M., JOVANOVIC D., DJERIC N., MIGIROS G., PAPANIKOLAOU D., TSELEPIDIS V. 2010. Triassic rift-type basalt and related dep-water sediments in the western

- ophiolite belt of the Hellenides-Dinarides (from Othrys Mts., Greece to Darnó Hill, NE Hungary). — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, pp. 285–286.
- PAPP I., KOZÁK M., KOVÁCS-PÁLFFY P., PÜSPÖKI Z., VÁMOS M., MCINTOSH R. W. 2010: Comparative investigation of Sarmatian bentonites in the region of Miskolc (North Hungary). — *20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010 — Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series* 6, p. 629.
- PAPP P. 2010: Nevezéktan és megismerés-történet a Kárpát-medence térségében (vázlatos áttekintés és névhasználati javaslat a földrajz és földtan területén). — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 8–11/04/2010. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Cluj*, pp. 162–164.
- PELIKÁN P. 2010: A Mátra és közvetlen környezetének földtana. — In: BARÁZ Cs. (szerk.): *A Mátrai Tájvédelmi Körzet. Heves és Nógrád határán*. Bükk Nemzeti Park Igazgatóság, Eger, pp. 17–26.
- PELIKÁN P. 2010: Szarvaskői tanösvény és Tóbérc bánya, Bükk. Jura bazaltpárnák a Bükkben. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 74–77.
- PETHŐ S., ÁCS V., GONDÁR K., GONDÁR-SÖREGI K., KUN É., SVASTA, J., TÓTH GY. 2010: The Function of the Numerical Hydraulic Modeling in the Case of the Determination of the Environmental Status of Transboundary Groundwater Bodies. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 135–154.
- PETHŐ S., ÁCS V., GONDÁR K., GONDÁRNÉ SÖREGI K., KUN É., SVASTA, J., TÓTH GY. 2010: Numerikus hidraulikai modellezés szerepe a határ menti közös felszín alatti víztestek környezetállapotának és fenntartható használatának meghatározásában. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 155–166.
- PIROS O. 2010: Aggteleki tanösvény, Aggteleki-hegység. Triász zátonyok közt bolyongva, lagúnákban megpihenve. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ösvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 46–49.
- PIROS, O., BUDAI, T., HAAS, J. 2010: Upper Triassic platform, slope and basin facies of the Pilis Mountains (Transdanubian Range, Hungary) — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, p. 312.
- PÜSPÖKI Z., DEMETER G., KOMSA J., DIPPONG T., RÉVAI A., KOVÁCS-PÁLFFY P. 2010: Határon átnyúló rétegsorok egységes szemléletű szekvencia-sztratigráfiai feldolgozásának lehetőségei. — In: DEMETER G., PÜSPÖKI Z., LAZÁNYI J., BUDAY T. (szerk.): *Szekvencia-sztratigráfiai alapú földtani kutatás Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében*. — Dominium Könyvkiadó, Debrecen, pp. 96–101.
- PÜSPÖKI Z., DEMETER G., KOVÁCS Z., KOVÁCS Zs., KOZÁK M., TÓTHNÉ MAKK Á., BUNÁSZ N., VANKA J., VINCZE-GÁL SZ., VINCZE L. 2010: Módszertani fejlesztések a Nyírségi pleisztocén vízadók kutatásához. — In: DEMETER G., PÜSPÖKI Z., LAZÁNYI J., BUDAY T. (szerk.): *Szekvencia-sztratigráfiai alapú földtani kutatás Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében*. — Dominium Könyvkiadó, Debrecen, pp. 13–62.
- RAUCSIK, B., ÚJVÁRI, G., VICZIÁN, I. 2010: Clays, (palaeo-)environment and culture: Field trip in Southern Transdanubia, Hungary — *20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010 — Acta Mineralogica–Petrographica, Field Guide Series* 14, 23 p.
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., BRAUCHER, R., CSILLAG, G., FODOR, L. 2010: Cosmogenic <sup>10</sup>Be dating of Danube terraces in Hungary. — *Geologica Balcanica* 39 (1–2). — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Abstracts Volume*, pp. 343–344.
- SAJGÓ Cs., KÁRPÁTI Z., HORVÁTH I., FEKETE J., KOVÁCS K., TOMBÁ CZ E., BRUKNER-WEIN A., VETŐ I. 2010: Hévízeink oldott szerves alkotói: eredetük és jelentőségük. In: Pál-Molnár E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010. GeoLitera, Szeged*, pp. 96–98.
- SELMECZI, I., HABLY, L. 2010: Gerencsérvár. Oligocén, késő-kiscelli Csatkai Formáció. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 49–51.
- SELMECZI, I., HABLY, L. 2010: Oligocene plant remains from Oroszlány, Hungary. — *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie–Abhandlungen* 256 (3), pp. 353–361.
- SELMECZI I., PALOTÁS K., SZUROMINÉ KORECZ A., SZEGŐ É., FODOR L., KERCSMÁR Zs., LANTOS Z. 2010: Rétegtani-őslénytani megfigyelések az M0 környűrű Anna-hegyi bevágásában. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, p. 24.
- SOLT P., HABLY L., NAGYNÉ BODOR E., SILYE L. 2010: Pannóniai korú növénymaradványok Siklódon. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 53–62.
- SOMODI A., JORDÁN GY. 2010: Érces meddőhányók hatása a környezetre. — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 8–11/04/2010. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Cluj*, pp. 92–93.
- SÜMEGI P., BODOR E., JAKAB G., MAJKUT P., PERSAITS G., SCHÖLL-BARNA G., DEMÉNY A., TÖRÖCSIK T. 2010: A Balatonedericsi öblözet fejlődéstörténete. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 25–26.
- SZABÓ, Cs, KOVÁCS, I., DÉGI, J., KÓTHAY, K., TÖRÖK, K., HIDAS, K., KÖNYA, P., BERKESI, M. 2010: From maars to lava lakes: Ultramafic and granulite xenoliths associated with alkaline basaltic volcanism of the Pannonian Basin — *20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010 — Acta Mineralogica–Petrographica, Field Guide Series* 13, 32 p.
- SZAKÁLL, S., FÖLDESSY, J., LESS, Gy., FÜKÖH, L., DÁVID, Á., NÉMETH, N., HADOBÁS, S., PIROS, O. 2010: Mineralizations in Mesozoic–Tertiary volcanic and sedimentary units of NE Hungary (with a tour in the Baradla Cave, Aggtelek). — *20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010 — Acta Mineralogica–Petrographica, Field Guide Series* 14, 32 p.
- SZARKA L., BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Kőrkep a Földről — kőrkep az emberiségről. — In: Magyarországi Evangélikus Egyház „Ararát” Teremtésvédelmi Munkacsoport (készítette): *A hét nap csodája. Segédanyag a „Teremtés Hete” ünnepkörhöz. — A teremtésvédelem hete, 26/09–03/10/2010, Budapest. Magyarországi Egyházak Ökumenikus Tanácsa Szociális Bizottsága, Budapest*, pp. 6–13.
- SZARKA L., BREZSNYÁNSZKY K., ÁDÁM J. 2010: Kőrkep a Földről. Környezeti kérdések földtudományi szemmel. — *Theológiai*

- Szemle* (Ünnepi különszám az alapítás 85 éves évfordulóján) Új folyam LIII, pp. 18–22.
- SZARKA, L., ÁDÁM, J., BREZSNYÁNSZKY, K., HAAS, J., KAKAS, K., KOPPÁN, A. and the IYPE NC Team 2010: Highlights and impacts of the International Year of Planet Earth in Hungary. — *7th EGU (European Geosciences Union) General Assembly, Wien, 02-07/05/2010*. — *Geophysical Research Abstracts* (12) EGU2010-5871. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-5871.pdf>
- SZEBÉNYI G., MÁTHÉ Z., MOLNÁR P., RÁLISCH E. 2010: A Mórággyi Gránit szerkezetkitöltései és azok gyakorlati jelentősége. In: PÁL-MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010*. GeoLitera, Szeged, p. 126.
- SZENTPÉTERY I., VATAI J., BUDINSZKY J. A., KUTI L. 2010: *Üdülési Csekkel a kőzetek világába*. — Értelmiségi Szakszervezeti Tömörülés (ÉSzt), Budapest, 96 p.
- SZILASSI, P., JORDÁN, Gy., KOVÁCS, F., VAN ROMPAEY, A., DESSEL, W. V. 2010: Investigating the link between Soil Quality and Agricultural Land use change. A case study in the Lake Balaton Catchment, Hungary. — *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 5 (2), pp. (?)
- SZINGER B., CSÁSZÁR G. 2010: A felső-jura – alsó-kréta Mária-vári Mészki Formáció őslénytani és szedimentológiai vizsgálata (Keleti-Mecsek) — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 3–5/06/2010. Program, előadáskivonatok, kirándulásvezető*, pp. 27–28.
- Szócs, T. 2010: Arsenic, fluoride and methane in Hungarian Groundwaters. — *International Conference. Geogenic Chemicals in Groundwaters and Soils: A research training network (AquaTRAIN), BRGM, Orléans, 8–9/07/2010*.
- Szócs, T. 2010: Groundwater resources = Ressources en Eaux Souterraines = Recursos de Aguas Subterráneas. — In: OneGeology-Europe Consortium (Designed and produced by): *One Europe One Geology. Applying Geoscience for Society*. OneGeology-Europe Consortium, Trento, Italy, pp. 28–29.
- Szócs, T., DEÁK, J., TÓTH, Gy., ZOLDI, I., TULLNER, T. 2010: Groundwater Quality in Hungary — results of EU River Basin Management Plan. — In: ZUBER, A., KANIA, J., KMIĘCIK, E. (eds): *XXXVIII IAH (International Association of Hydrogeologists) Congress. Groundwater Quality Sustainability, Krakow, 12–17/09/2010. Extended Abstracts*. University of Silesia Press, Krakow, pp. 149–151.
- Szócs, T., HORVÁTH, I., BARTHA, A., BERTALAN, É., TÓTH, Gy., BALLÓK, M. 2010: Arsenic speciation and mobility in shallow groundwater: An example from Hungary. — In: BIRKLE, P., TORRES ALVARADO, I. S. (eds): *Water–Rock Interaction XIII [13th International Symposium on Water–Rock Interaction (WRI-13), Guanajuato, Mexico, 16–20/08/2010]*. Taylor & Francis Group, London, pp. 307–310.
- Szócs, T., KORDIK, J., HORVÁTH, I., TÓTH, Gy., BARTHA, A., SLANINKA, I., RAPANT, S., BODIS D., NOVÁK, B., REPKOVA, R. 2010: Hydrogeochemical Evaluation of Three Transboundary Groundwater Bodies in the Ipoly/Ipeľ Valley, Aggtelek-Slovak Karst and Bodrog Basin Regions of Hungary and Slovakia. Enwat (Interreg IIIA) project. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 167–186.
- Szócs, T., TÓTH, Gy., MARCIN, D., NÁDOR, A., HALMAI, J., HOFMANN, T., ČERNAK, R., SCHUBERT, G., LAPANJE, A., KOVAČOVA, E., ROTÁR-SZALKAI, Á., GOETZL, G. 2010: Transenergy – Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia. — In: ZUBER, A., KANIA, J., KMIĘCIK, E. (eds): *XXXVIII IAH (International Association of Hydrogeologists) Congress. Groundwater Quality Sustainability, Krakow, 12–17/09/2010. Extended Abstracts*. University of Silesia Press, Krakow, pp. 1385–1387.
- SZTANÓ O., CSÁSZÁR G. 2010. Kőszőrűkő-bányái alapszelvény, Lábatlan, Gerecse. Egy kréta mélytengeri törmelékűp üzenete. — In: HAAS J. (szerk.): *A múlt ősvényein. Szemelvények Magyarország földjének történetéből*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, pp. 93–96.
- SZTANÓ O., MAGYARI Á., TÓTH P. 2010: Gilbert-típusú delta a pannóniai Kállai Kavics Tapolca környéki előfordulásában. — *Földtani Közöny* 140 (2), pp. 167–181.
- THAMÓ-BOZSÓ E., MAGYARI Á. 2010: Tracing the origin of some loess and loess-like sediments in Transdanubia and valleys of Ér- and Berettyó Rivers by the help of OSL dating and heavy mineral analysis. — *International Workshop on Loess Research and Geomorphology, Pécs, Magyarország, INQUA Loess Focus Group & Carpatho-Balkan Geomorphological Commission, 17–21/10/2010. Book of Abstracts*, p. 33.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E., NÁDOR A., MAGYARI Á., 2010: Késő-pleisztocén–holocén törmelékes üledékes kőzetek kora, származása, és a folyóvízhálózat változásai OSL kormeghatározás és nehézsúlyú vizsgálat alapján. — *Első Közzetani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony, 11–13/06/2010*, p. 18.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E., FIEBIG, M., PREUSSER, F., STEFFEN, D., 2010: Duna menti fiatal üledékképződés és egy kikötő 16. századbeli feltöltődése a lumineszcens és dendrokronológiai koradatok tükrében. — In: KÁZMÉR M. (szerk.): *Környezettörténet 2010 Konferencia. Környezeti események a honfoglalástól napjainkig történeti és természettudományi források tükrében, Budapest, 4–5/02/2010*. Hantken Kiadó, Budapest, pp. 88–89. (Az Általános Földtani Szemle Könyvtára 3.)
- THAMÓ-BOZSÓ, E., MAGYARI, Á., MUSITZ, B., NAGY, A. 2010: OSL ages and origin of Late Quaternary sediments in the North Transdanubian Hills (Hungary): timing of neotectonic activity. — *Quaternary International* 222 (1–2), pp. 209–220.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., CSILLAG, G., FODOR, L., MÜLLER, P. M., NAGY, A. 2010: OSL dating on quartz in the north-eastern Transdanubian Central Range (Hungary). — *10th International Conference “Methods of Absolute Chronology”, Gliwice, Poland, 22–25/04/2010, Abstracts and Programme*, p. 126.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., CSILLAG, G., FODOR, L. I., MÜLLER, P. M., NAGY A. 2010: OSL-dating the Quaternary landscape evolution in the Vértes Hills forelands (Hungary). — *Quaternary Geochronology* 5 (2–3), pp. 120–124.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., CSILLAG, G., KÁKAY-SZABÓ, O., KÓNIA, P., MÜLLER, P. 2010: A study of wind-polished rock surfaces in the Transdanubian Range (Hungary). — *20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010 — Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series* 6, p. 333.
- TIMÁR G., CSILLAG G., SZÉKELY B., MOLNÁR G., GALAMBOS Cs., CZANIK Cs. 2010: A Balaton legnagyobb kiterjedésének rekonstrukciója a függőleges kéregmozgások figyelembevételével. — *Földtani Közöny* 140 (3), pp. 455–462.
- TÓTH, E., WEISZBURG, T. G., JEFFRIES, T., WILLIAMS C. T., BARTHA A., BERTALAN É., CORA, I. 2010: Submicroscopic accessory minerals overprinting clay mineral REE patterns (celadonite–glauconite group examples). — *Chemical Geology* 269, pp. 312–328.

- TÓTH Gy., HORVÁTH I., MURÁTI J., ROTÁRNÉ Sz. Á., SZÓCS T., VETŐ I., 2010: XL Pannon hidrogeológiai modell fejlesztése és lehetőségei a vízyűjtő gazdálkodásban. — *XVII. Konferencia a felszín alatti vizekről, Siófok, 24–25/03/2010.*
- UNGER Z. 2010: Fraktálgeometriai elemzések a földtani kutatásban. — 12. Székelyföldi Geológus Találkozó. Dénes István emlékkonferencia, Barót, 28–31/10/2010, p. 22.
- VELLEDITS, F., PÉRO, Cs., BLAU, J., SENOWBARI–DARYAN, B., KOVÁCS, S., PIROS, O., POCSAI, T., SZÜGYI–SIMON, H., DUMITRICA, P., PÁLFY, J. 2010: Evolution of the Aggtelek reef (NE Hungary, Middle Triassic) and its role in the Early–Middle Triassic reef recovery. In: PÁL–MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010.* GeoLitera, Szeged, pp. 127–130.
- VETŐ I., BADI K., CORIC, S., HETÉNYI M. 2010: Olaj anyakőzet képződés az oxigénben gazdag, mérsékelt planktoni produktivitású bádeni tengerben. In: PÁL–MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010.* GeoLitera, Szeged, pp. 112–113.
- VICZIÁN I. 2010: Quantitative mineralogy of pliocene and quaternary alluvial sediments of the Pannonian Basin. — In: PÁL–MOLNÁR E. (szerk.): *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 20–22/05/2010.* GeoLitera, Szeged, p. 114.
- VICZIÁN I. 2010: Teleki Domokosnak, a jénai Ásványtani Társaság első elnökének írt levelek a marosvásárhelyi Teleki Tékában. — 12. Székelyföldi Geológus Találkozó. Dénes István emlékkonferencia, Barót, 28–31/10/2010, p. 23.
- VICZIÁN I., ZATYKÓ Cs. 2010: Környezettörténeti, geomorfológiai és településrégészeti kutatások a Dráva völgyében. — In: KÁZMÉR M. (szerk.): *Környezettörténet 2010 Konferencia. Környezeti események a honfoglalástól napjainkig történeti és természettudományi források tükrében, Budapest, 4–5/02/2010.* Hantken Kiadó, Budapest, pp. 95–96. (Az Általános Földtani Szemle Könyvtára 3.)
- WACHA, L., KOLOSZÁR, L., CHIKÁN, G., GALOVIC, L., MAGYARI, Á., MARSI, I. & TSUKAMOTO, S. 2010: IRSL dating of a Quaternary sediment succession in Saregrad, Eastern Croatia. — In: HORVAT, M. (ed.): *4. Hrvatski geoloski kongres s međunarodim sudjelovanje. Knjiga sazetka = 4. Croatian Geological Congress. Abstracts Book, Šibenik, Croatia, 14–15/10/2010.* Hrvatski geoloski institut, Zagreb, pp. 380–381.
- YILMAZ, I. O., ÖZCAN, E., LESS, Gy., OKAY, A., FODOR, L., NAGY-PÁLFALVY, S. 2010: Evolution and stepwise drowning of a ramp-type carbonate platform in Thrace Basin, NW Turkey (Late Middle Eocene – Oligocene). — *Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia, Ankara, Turkey, 4–8/10/2010. Abstracts with Programs*, p. 35.
- ZAJZON, N., VETŐ, I., DEMÉNY, A., PINTÉR, F., FÖLDVÁRI, M. 2010: Pyrite generations and ankerite in the deepest sediments of the Makó trench (Pannonian basin) — *20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010 — Acta Mineralogica–Petrographica, Abstract Series 6*, p. 19.
- ZELENKÁ T. 2010: A Mátra hegység paleogén és neogén vulkanizmusa. — In: BARÁZ Cs. (szerk.): *A Mátrai Tájvédelmi Körzet. Heves és Nógrád határán.* Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, Eger, pp. 27–38.
- ZELENKÁ T., KARÁTSÓN D., PELIKÁN P. 2010: A Mátra földtani kutatástörténete. — In: BARÁZ Cs. (szerk.): *A Mátrai Tájvédelmi Körzet. Heves és Nógrád határán.* Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, Eger, pp. 15–16.
- ZSÁMBOK I., GYURICZA Gy., SZURKOS G. 2010: Budapest kerületeinek településgeológiai térképsorozata. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2008*, pp. 115–122.

### Térkép, kézirat, jelentés

- ALBERT G. 2010: A Molnár János-barlang 2002 előtt feltárt járatainak volumetrikus modellezése — *Kézirat*, ELTE Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest, 29 p.
- ANDRÁS E., VÁGÓ Z., CSAPÓ Á., NAGY V., VERES J., KORPAI F., ANDRÁSSY M., DARVAS K., SIDLÓ T. G., KIRÁLY E., GYALOG L., RÁTKAI O., KOVÁCS L., SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. 2010: A Bp–4B jelű potenciálfúrás egységes értékelő jelentése. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010. május, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-007/10M01.
- BALLA Z. 2010: Geológiai-tektonikai modell 2. 3D/4D modellek aktualizálása. Jelentés az Üh-82/2009. számú szerződés T80670 kódszámú tételének teljesítéséről. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1475; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK–K–036/10.
- BALLA Z. 2010: Geológiai-tektonikai modell 3. 3D/4D modellek aktualizálása. Jelentés az Üh-82/2009. számú szerződés T80670 kódszámú tételének teljesítéséről. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1477; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK–K–095/10.
- BALLA Z. 2010: A lejtőszaknak és a kishurok vágatszakasz elő- és vízföldtani kutatásainak földtani-szerkezeti revíziós vizsgálata. Jelentés az Üh-82/2009. sz. szerződés T40200 kódszámú tételének teljesítéséről. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1474/U; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK–K–153/09.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Bírálólat Maigut Vera: A földtani térkép-szerkesztés geoinformatikai problémáinak megoldási lehetőségei című doktori értekezéséről. — *Kézirat*, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Tudományos-vezetési és Egyetemközi Kapcsolatok Osztálya, Budapest, 4 p.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Útjelentés, Nagyenyed/Aiud, Románia, 2010. április 8–11. — *Kézirat*, MÁFI, Országos Földtani Szakkönyvtár, 1 p.
- BREZSNYÁNSZKY K., SZARKA L., HAAS J. 2010: A Föld Bolygó Nemzetközi Éve hazai eredményei. — *Kézirat*, MTA Földtudományok Osztálya, Budapest, 2010. február 20., 3 p.
- DÁLYAY V., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V., VERES J., ANDRÁS E., ANDRÁSSY M., SIDLÓ T. G., DARVAS K., KORPAI F., GULÁCSI Z., GYALOG L., DEÁK F., KOVÁCS L., SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. 2010: A BeR–10 jelű magfúrás egységes értékelő jelentése. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010. május, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-008/10.
- DÁLYAY V., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V., VERES J., CSAPÓ Á., ANDRÁSSY M., DARVAS K., KORPAI F., SIDLÓ T. G., ZSÁMBOK I., GYALOG L., MÉSZÁROS E., KOVÁCS L., SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. 2010: A BeR–9 és BeR–9A jelű vágatlejtőfúrások egységes értékelő jelentése. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010. május, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-007/10M01.
- FODOR L., PALOTÁS K., SELMECZI I., TÓTHNÉ MAKK Á., TULLNER T., UHRIN A. 2010: Előzetes jelentés a WP2 földtudományi modellek, A3 Konceptcionális modellek, SA1 Konceptcionális



- földtani modell feladat teljesítéséről. Szlovénia–Magyarország operatív program 2007–2013, T-JAM: Geotermikus hasznosítások számbavétele, a hévízadók értékelése és a közös hévízgazdálkodási terv előkészítése a Mura–Zala medencében. — *Kézirat*, SI-HU-1-2-013/01, 41 p.
- GÁL N. 2010: Transenergy projekt WP3 magyarországi eredményei és elvégzett feladatai. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- GÁL N., TÓTH GY., SZÓCS T. 2010: Határokkal osztott felszín alatti víztestek értékelése. — In: TÓTH GY., GÁL N., SZÓCS T., OROSZ L., MURÁTI J.: Hidrogeológia modellfejlesztések. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- HORVÁTH I., MURÁTI J., SZÓCS T., TÓTH GY., TÓTHNÉ MAKK Á., UHRIN A. 2010: „Regionális vígeokémiai értékelés Hajdúnánás térségében” teljesítéséről. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- KOLOSZÁR L., MAGYARI Á., MARSII I. 2010: Jegyzőkönyv a 2010. június 17-i abaújvári terepbejárásról. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 9 p.
- KONRÁD GY., HALÁSZ A., SEBE K., BABINSZKI E. 2010: Értelmező tanulmány a Bodai Aleurolit Formáció üledékföldtani adatairól. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 30 p.
- MARSII I. 2010: Kolontár környékének földtani térképsorozata; Észlelési és fedett földtani térkép. 1:10 000. — In.: VATAI J. (et al.) 2010: Előzetes jelentés az ajkai vörösiszap-tározók környezetében végzett MÁFI munkákról. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- MARSII I. 2010: Régészeti szempontú földtani, talajtani értékelés (Miskolc Harsányi úti elágazás régészeti feltárása). — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 10 p.
- ROTÁRNÉ SZALKAI Á., HALMAI J., NAGY P. 2010: Ajánlati felhívás a KEOP-2.2.2/09-2009-0003 „Víz Keretirányelv végrehajtásához kapcsolódó monitoring rendszerek fejlesztése” tárgyú, nyílt közbeszerzési eljárásához. Műszaki leírás. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- ROTÁR-SZALKAI, Á., MAROS, GY., GOETZL, G., RAJVER, D., CERNAK, R. in collaboration with ŠGÚDŠ, GBA, MÁFI and GeoZS 2010: Modeling Manual. TRANSENERGY – Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia. WP5 Cross-border geoscientific models, 5.1. Creation of conceptual Model. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- SZABÓ R., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V., VERES J., ANDRÁS E., CSAPÓ Á., SIDLÓ T. G., ANDRÁSSY M., DARVAS K., KOROKNAI B., GYALOG L., RÁTKAI O., KOVÁCS L., SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. 2010: A BeR–12 jelű egységes értékelő jelentése. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010. május, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-010/10M01.
- SZEBÉNYI G., TÖRÖK P., ANDRÁS E., SZAMOSI L., KOVÁCS L., DEÁK F., JAKAB A., MÁTÉ K., RÁTKAI O., GYALOG L., BORSODY J., FÜRI J., GULÁCSI Z., MAROS GY., RÁLISCH E., MOLNÁR P. 2010: Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló feltáró vágatai térképezése II. ütem 1–2. szakasz Vágatdokumentációs Jelentés — „Nagyhurok” — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010. augusztus, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-048/10.
- SZEBÉNYI G., TÖRÖK P., DÁLYAY V., VÁGÓ Z., SZABÓ R., CSAPÓ Á., VERES J., NAGY V., KIRÁLY E., GYALOG L., RÁTKAI O., JAKAB A., KORPAI F., ANDRÁSSY M., DARVAS K., SIDLÓ T. G., SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. 2010: A BeR–11 és –11A jelű vágatelőfúrás egységes értékelő jelentése. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010. május, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-009/10M01.
- SZÜCS A., JORDÁN G., SZÓCS T. 2009. Vízgyűjtő-gazdálkodási tervek előkészítése. A felszínalatti vizek trend vizsgálata, KEOP 2.5.0 projekt (külső jelentés). — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E. 2010: Results of OSL dating samples N3 (Montours, France). — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E. 2010: Results of OSL dating samples from T103, DELP, POI1 and CHA9. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- TÖRÖK P., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., SIDLÓ T. G., ANDRÁSSY M., DARVAS K., KORPAI F., ZSÁMBOKI I., GYALOG L., MÉSZÁROS E., KOVÁCS L., SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. 2010: A BeR–8 jelű vágatelőfúrás egységes értékelő jelentése. — *Kézirat*, Mecsekérc Zrt., Pécs, 2010. április, RHK Kft. Irattár, Paks, RHK-K-007/10.
- VATAI J. (et al.) 2010: Előzetes jelentés az ajkai vörösiszap-tározók környezetében végzett MÁFI munkákról. MÁFI. p. 40, 5 db térkép, 14 db melléklet. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.

### Előadások

- ALBERT G.: Háromdimenziós földtani modellek fejlesztésének és megjelenítésének módszerei térinformatikai szemlélettel. — *Doktori (Ph.D) értekezés nyilvános védése, Budapest, ELTE Természettudományi Kar, 2010. 05. 01.*
- ALBERT G., CSILLAG G.: Földtani tartalomszolgáltatás web 2.0 alapokon. — *A Magyar Tudomány Ünnepe, Határok Nélküli Tudomány. Kihívások és lehetőségek a tudományterületek határán, Budapest, MTA székház, nagyterem, 2010. 11. 11.*
- ALBERT G., CSILLAG G., FODOR L., KERCSMÁR Zs., SELMECZI I. 2010: Paleomorfológiai megfigyelések a Gerecse északkeleti előterében. — *Geográfia 2010. 5. Magyar Földrajzi Konferencia, 2010. 05. 11. Pozszer.*
- BABINSZKI E. 2010: Hogyan kommunikáljunk? Fiatalíthatja-e, frissítheti-e a magyar tudománykommunikáció nyelvezetét, hozzáállását az, ha a fiatal kutatók nagyobb szerepet vállalnak benne? Előadás és kerekasztal-beszélgetés. — *Tudományos Újságírók Klubja, Simonffy Géza Szeminárium, Tihany, 2010. 05. 14–15.*
- BABINSZKI E. 2010: A média szerepe a földtudományi értékek megismertetésében. — *A Magyar Tudomány Ünnepe, Határok Nélküli Tudomány. Kihívások és lehetőségek a tudományterületek határán, Budapest, MTA székház, 2010. 11. 11.*
- BALLA, Z. 2010: Contribution of palaeomagnetic data to the geodynamic history of South Transdanubia. — *Presentation on the workshop of the Austrian–Hungarian joint research project “Correlation of tectonic lines and units in the upper crust revealed by geological methods and deep crustal/lithospheric structures imaged by geophysical methods in the in the East Alpine–Pannonian domain”, Leoben, 14/09/2010*
- BARTHA A. 2010: A Műegyetemtől a Földtani Intézetig. — Előadás Dr. Kántor Tibor 80. születésnapja alkalmából rendezett előadóülésen, MKE szervezés, Budapest, 2010. 11. 12.
- BARTHA A., BALLÓK, M., BERTALAN É. 2010: Direct sampling AAS; ICP-OES and ICP-MS methods of total Hg and other toxic element contents on samples of San Joaquín’s region. — *The results of the Mexican–Hungarian cooperation in earth sciences, 1995–2010 workshop, Geological Institute of Hungary (MÁFI), Budapest, 09/10/2010*
- BERTALAN É. 2010: Induktív csatolású plazma tömegspektrometria

- (ICP-MS) és alkalmazásai a földtudományi vizsgálatokban. — 5. Téli Ásványtudományi Iskola, Balatonfüred, 2010. 01. 22.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Rádió interjú a Pannon-síkság jövőjéről, nyersanyagokról, geológiáról. — *Klub Rádió*. „Többet észszel” rovat, 24/06/2010.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: A Föld Bolygó Nemzetközi Éve célkitűzéseinek érvényesülése az Ipoly-projektben. — „Térinformatikai alapú egységes környezeti monitoring kialakítása az Ipoly vízgyűjtő területén = Vytvorenie jednotného monitoringu na báze priestorového informačného systému v povodí Ipa”. Nemzetközi konferencia, Gyúgy/Dudince, Szlovákia, 2010. 09. 23.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: A Magyar Természettudományi Társulat közhasznúsági jelentése a 2009. évről. — *A Magyar Természettudományi Társulat közgyűlése, TIT Stúdió Egyesület, Budapest, 2010. 06. 09.*
- BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Main scientific episodes in the UNAM-MÁFI cooperation. — *The results of the Mexican-Hungarian cooperation in earth sciences, 1995–2010 workshop, Geological Institute of Hungary (MÁFI), Budapest, 09/10/2010*
- BREZSNYÁNSZKY K., SZARKA L. 2010: A Föld Bolygó Nemzetközi Éve, összefoglaló értékelés. — *Magyar Tudományos Akadémia Földtudományok Osztálya, Osztályülés, Budapest, MTA Székház, 2010. 01. 19.*
- BREZSNYÁNSZKY K., SZARKA L. 2010: „A Föld Bolygó Nemzetközi Éve” időszerepe. — 12. *Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 2010. 04. 10.*
- BREZSNYÁNSZKY K., KLINGHAMMER I. 2010: Megnyitó. — „Kapnikbányától Pápua Új-Guineáig egy világszerte geológus térképei”. A Magyar Olajipari Múzeum időszaki kiállítása, Zalaegerszeg, 2010. 08. 31. <http://zegtv.hu/regi/www.zegtv.hu/cgi-bin/zegtv/indexdd31.html?view=rendezvenynaptar&eID=148971&year=&month=&day=&keres=>
- BUDAI T. 2010: A Vértes földtani kutatása. — 13. *Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 2010. 06. 03.*
- BUDAI T., HAAS J., PIROS O. 2010: Újabb adatok a Pilis triász képződményeinek földtani és őslénytani ismeretéhez. — 13. *Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 2010. 06. 03.*
- BUDAI T., HAAS J., HALÁSZ A., HIPS K., LUKOCZKI G. VÖRÖS A. 2010: 7<sup>th</sup> International Field Workshop (Pan-European Correlation of the Triassic). Dolomites, Southern Alps, Italy, September 5–10, 2010. — *Földtani Társulat Általános Földtani Szakosztály előadói ülés, Budapest, 15/12/2010*
- CHIKÁN, G., HEĆIMOVIĆ, I. 2010: Borderless geology: Geological Maps of Drava territory — 4. *Hrvatski geoloski kongres s međunarodim sudjelovanje. Knjiga sazetka = 4. Croatian Geological Congress. Abstracts Book, Šibenik, Croatia, 14–15/10/2010.*
- CSILLAG G. 2010: A földtudományi értékek felmérése, kezelése, bemutatása a Bakony-Balaton Geopark példáin keresztül. — *A geoparkok jövője, a jövő geoparkjai. AZ MTA X. Földtudományok Osztálya Természetföldrajzi Bizottsága, Tájföldrajzi Albizottságának kihelyezett ülése, Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság, Csopak, 2010. 12. 03.*
- CSILLAG, G., SEBE, K., NÉMETH, K. 2010: Geomorphic environment of the maar volcanism in the Balaton Highland. — *New Advances in Maar-Diatreme Research in Hungary, Germany and New Zealand. Results and Perspectives. International Maar Workshop, Tapolca, Hungary, 13–15/08/2010.*
- CSILLAG G., FODOR L., LANTOS Z., RÉTI ZS., ALBERT G., KOLOSZÁR L. 2010.: Etchplain-maradványok, pediplén-képződés, eolikus formák a Kufra-medencében (DK–Líbia). *GEOGRÁFIA 2010. 5. Magyar Földrajzi Konferencia, Pécs, 6/11/2010.*
- CSILLAG G., RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., BRAUCHER R., FODOR L., DUNAI T. J., BADA G., BOURLÉS D., MÜLLER P. 2010: Dating aeolian landforms using cosmogenic <sup>10</sup>Be in Hungary, Central Europe. — 19. *Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010. Poster.*
- CSUHANICS B., JORDÁN GY., FÖLDESSY J., SZAKÁLL S. 2010: A parádsavári polimetallikus ércesedés környezetgeokémiai vizsgálata. — 12. *Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 2010. 04. 08–11.*
- DEÁK, J., SZÓCS, T., FÓRIZS, I. 2010: Pathways of nitrate and ammonia in Hungarian groundwater. — *Workshop on Nitrogen Pathways in the Danube Basin IAEA, in collaboration with the ICPDR, Vienna, 11–12/05/2010.*
- DETRE Cs. 2010: A környezet mint totalitás. — A környezetvédelem filozófiai alapjai, Kőbányai Szabó Ervin Könyvtár a Pataki Művelődési Házban, Budapest, 2010. 10. 29.
- FODOR L. 2010: Fault-related folds and along-dip segmentation: examples from Libya and Hungary. — 8<sup>th</sup> *Meeting of the Central European Tectonic Studies Group (CETeG-8), Gory Swietokrzyskie, Poland, 22–25/04/2010.*
- FODOR L. I., MÁRTON E. 2010: Combination of paleostress and paleomagnetic data: case studies from the Pannonian Basin. — *Annual Meeting of the Tectonics Studies Group (STG) for 2010, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham, 6–8/01/2010.*
- FODOR L. I., OKAY, A., ÖZCAN E. 2010: Origin and deformation of the Thrace Basin: constraints from fault-slip analysis. — 19. *Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010.*
- FÖLDESSY J., ZELENKA T. 2010: Rövid összefoglaló a Miskolci egyetem Ásvány-Földtani Intézetében zajló közzétanti és geokémiai kutatásokról. — *Első Közzétanti és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony, 2010. 06. 11.*
- FÖLDVÁRI M. 2010: Mit tudnak az agyagásványok? (Szemelvények a MÁFI földtani kutatásai tükrében) — A Magyar Tudományos Akadémia Földtudományok Osztálya ünnepi tudományos ülése a 90 éves Nemezs Ernő tiszteletére, Budapest, 2010. 10. 26.
- FÓZY I., PRICE, G., PÁLFY J., JANSSEN, N. M. M., KNAUER J. 2010: Cephalopodák és izotópgörbék: fél évszázaddal ezelőtt begyűjtött jura-kréta faunák vizsgálatainak eredményei. — 13. *Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 2010. 06. 05.*
- HEĆIMOVIĆ, I., MARSI, I., BANAK, A., CHIKÁN, G., FERIC, P., GRIZELI, A., HORVAT, M., KOLOSZÁR, L., MAGYARI, Á. 2010: Correlation of Quaternary and Tertiary sediments of Drava-valley at Sellye–Slatina Sheet, scale 1:100 000/Korelacija kvartarnih i tercijarnih sedimenata doline Drave sa lista Sellye–Slatina, M 1:100 000. — 4. *Hrvatski geoloski kongres s međunarodim sudjelovanje. Knjiga sazetka = 4. Croatian Geological Congress. Abstracts Book, Šibenik, Croatia, 14–15/10/2010.*
- HORVÁTH É., JORDÁN GY., FÜGEDI U., BARTHA A., KUTI L., KALMÁR J., VALDMAN I., NAPRADEAN I., DAMIAN G., HELTAI GY. 2010: Bányászati eredetű szennyezések vizsgálata erdélyi esettanulmány kapcsán. — 53. *Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Hajdúszoboszló, 2010. 06. 30–07. 02.*
- JOCHÁNÉ EDELÉNYI E., GÁL N., HAAS J. 2010: A sárvári termálvíz összetételét meghatározó földtani tényezők. — HUNGEO 2010. Magyar Földtudományi Szakemberek X. Világtalálkozója. Régiók–Határmentiség–Peremterületek, Szombathely, 2010. 08. 17.

- KALMÁR J., FÜLEKY GY., KÁTAI J. 2010: Nyírségi kovárványos talajszelvény ásványtani vizsgálata. — A Magyar Talajtani Társaság (MTT) Talajásványtani Szakosztály Jubileumi Ülése, megalakulásának 25. évfordulója alkalmából, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest, 2010. 10. 28.
- KÁNTOR, T. 2010: New results in the development of laser ablation cells used to inductively coupled plasma mass spectrometry. — *European Symposium on Atomic Spectrometry, ESAS 2010, Wrocław, Poland, 08/09/2010.*
- KÁNTOR T., BERTALAN É., KIRÁLY E., BARTHA A. 2010: Lézerablációs cellák újabb fejlesztése ICP-MS elemzésekhez. — *53. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Hajdúszoboszló, 2010. 06. 30–07. 02.*
- KERCSMÁR Zs. 2010: Az É-i Gerecse eocén rétegsora a legújabb kutatások tükrében. — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 2010. 04. 08–11.*
- KERCSMÁR Zs. 2010: Korallzátony kifejlődések az Északi-Vértes középső-eocén rétegsorában. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 2010. 06. 05.*
- KERCSMÁR Zs. 2010: Nummulitesz-zónákon alapuló korbesorolás és az új litosztratigráfiai eredmények összefüggései a Dunántúli Paleogén Medence eocén rétegsoraiban. — *Ünnepi tudományos előadói ülés Kecskeméti Tibor 80. születésnapja alkalmából, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 2010. 09. 02.*
- KERESZTURI, G., CSILLAG, G., NÉMETH, K. 2010: Breaching of Degradated Scoria Cone of Western Hungary: Syn- or Post-Eruptive Origin? — *Cities on Volcanoes 6th Conference, Puerto de la Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain, 31/05/2010–04/06/2010.*
- KERESZTURI, G., CSILLAG, G., NÉMETH, K., SEBE, K., BALOGH, K., JÁGER, V. 2010: Volcanic architecture, eruption mechanism and landform evolution of a Plio/Pleistocene intracontinental basaltic polycyclic monogenetic volcano from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. — *19. Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010.*
- KIRÁLY E: A Mórággyi Gránit magmás fejlődéstörténete. — *Első Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony, 2010. 06. 12.*
- KIRÁLY E., BARTHA A., BERTALAN É., KÁNTOR T. 2010: LA-ICP-MS mérések a MÁFI laboratóriumában. Az új Nexion300 ICP-MS termékcsalád bemutatója. — *Atomspektroszkópiai és minta-előkészítési szeminárium a PER-FORM Hungária KFT és a Magne-Chem Kft szervezésében, Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Budapest, 2010. 10. 27.*
- KÓNYA P. 2010: Új ásványok a Bakony–Balaton-felvidék vulkáni terület (BBVT) bazaltjainak üledékes közetzárványaiból. — „Ásványok, lelőhelyek, emberek”. Előadói ülés a Herman Ottó Múzeum Ásványtára 30 éves fennállásának alkalmából, Herman Ottó Múzeum Központi Épülete, Miskolc, 2010. 03. 05.
- KÓNYA P., KOVÁCS-PÁLFFY P., KOZÁK M., VAMOS M., PÜSPÖKI Z. 2010: Bentonitos telepcsoport sűrűn lakott védendő műemléki környezetben. — *HUNGEO 2010. Magyar Földtudományi Szakemberek X. Világtalálkozója. Régiók – Határmentiség – Peremterületek, Szombathely, 2010. 08. 17.*
- KOROKNAI B. 2010: Kőzettani és geokémiai kutatások a Magyar Állami Földtani Intézetben. — *Első Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony, 2010. 06. 11.*
- KOROKNAI, B., GERDES, A., KIRÁLY, E., MAROS, GY. 2010: A Mórággyi Gránit kora és eredete: új LA-ICP-MS U-Pb és Hf izotóp adatok. — *Első Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony, 2010. 06. 12.*
- KOROKNAI, B., GERDES, A., KIRÁLY, E., MAROS, GY. 2010: New LA-SF-ICP-MS U-Pb and Lu-Hf isotopic constraints on the age and origin of the Mórággyi Granite (Mecsek Mountains, South Hungary). — *20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010.*
- KOROKNAI, B., MAROS, GY., KOVÁCS-PÁLFFY, P., KÓNYA, P., VICZIÁN, I., BALOGH, K., PÉCSKAY, Z. 2010: Origin and timing of brittle shear zones in the Mórággyi Granite (Hungary): mineralogy and K-Ar geochronology of illite-rich fault gouges. — *20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010.*
- KOVÁCS, M., FÜLÖP, A., COOK, N. J., KOVÁCS-PÁLFFY, P., PÉCSKAY, Z. 2010: Magma mingling and mixing as key processes in the petrogenesis of the Laleaua Albă Neogene composite igneous complex, Gutâi Volcanic Zone, Northern Romania. — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010.*
- KOVÁCS-PÁLFFY, P., FÖLDESSY, J., KÓNYA, P., BERTALAN, É. 2010: Bentonite deposits of Hungary – a review of their mineralogy and geology. — *20th General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), Budapest, 21–27/08/2010.*
- KÖVÉR, SZ. FODOR, L. I. 2010: K-white mica thermo-barometry, conodont colour alteration index and vitrinite refelction: methods to distinguish nappes in a complex diagenetic to low-grade metamorphic nappe pile. — *Annual Meeting of the Tectonics Studies Group (STG) for 2010, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham, 6–8/01/2010.*
- LESS GY., ÖCZAN, E., BÁLDINÉ BEKE M., KOLLÁNYI K., OKAY, A. I., FODOR L., PÁLFALVI S. 2010: A Trák-medence eocén fejlődéstörténete új mikropaleontológiai adatok alapján. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 2010. 06. 05.*
- MAGYARI Á., MARS I. 2010: Indications of Pleistocene Geomorphic Processes in the Middle Part of the Danube Valley. — *International Workshop on Loess Research and Geomorphology, Pécs, Magyarország, INQUA Loess Focus Group & Carpatho-Balkan Geomorphological Commission, 17–21/10/2010.*
- MAGYARI Á., NÁDOR A., TÓTHNÉ MAKK Á., BABINSZKI E., JÁMBOR Á., JUHÁSZ GY., KERCSMÁR Zs., MARS I., MURÁTI J., THAMÓNÉ BOZSÓ E., UNGER Z., TULLNER T. 2010: Az Alföld negyedidőszaki medencefejlődése – eredmények, megoldandó feladatok és kérdések. — *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 2010. 05. 20–22.*
- MURÁTI J., TÓTH GY., 2010: Hő-transzport értékelések, talajvízes és parti-szűrő modelllezési példákkal „A Paksi Atomerőmű hőterhelésének numerikus modellezése a Duna két szelvényében.” Geotermikus fúrások tervezése és művezetése, Lorbertervező Vízföldtani Tervező Kft. — *Előadónap 2010. 02. 01., Budapest.*
- MURÁTI, J., TÓTH, GY. 2010: Prediction of the interferences of urbanization (including geothermal utilizations) and surface water-groundwater interactions on a large alluvial aquifer, Budapest capital city, Hungary. — *HydroPredict' 2010: 2nd International Interdisciplinary Conference on Predictions for Hydrology, Ecology and Water Resources Management. Changes and Hazards caused by Direct Human Interventions and Climate Change, Prague, Czech Republic, 20/09/2010.*
- NÁDOR A., TÓTH GY., MURÁTI J., SZÓCS T., JORDÁN GY., 2010: Geotermia határon innen és túl — a MÁFI kutatási projektjei. — *6. (Kistelek) Nemzetközi Geotermikus Konferencia, 2010. 03. 04.*

- NÁDOR A., TÓTH GY., UHRIN A., FODOR L., TÓTHNÉ MAKK Á., PALOTÁS K., SELMECZI I., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., SZÓCS T., MURÁTI J. 2010: A Nyugat-Pannon medence határokkal osztott geotermikus rezervoárjai. — „Merre tart a világ?” Magyar Mérnöki Kamara Geotermikus Szakosztályának szakmai napja, Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Budapest, 2010. 05. 17.
- NÁDOR A., LAPANJE, A., UHRIN A., PALOTÁS K., SELMECZI I., FODOR L., TÓTHNÉ MAKK Á., MURÁTI J., SZÓCS T., JELEN, B., KOROKNAI B., NAGY SZ., KUMELJ, S., BABINSZKI E., ÁDÁMNÉ INCZE SZ., SZABADOSNÉ SALLAY E., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., MAROS GY. 2010: Határon átnyúló hévízföldtani értékelés és közös termálvíz-gazdálkodási terv megalapozása a Mura-Zala-medencében. — *Medencefejlődés és geológiai erőforrások. Víz, szénhidrogén, geotermikus energia. A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Szeged, 2010. 05. 20–22.*
- NAGY R., PAPP I., FÖLDVÁRI M., DEZSÓ Z., KÓNYA P. 2010: Talaj-ásványtani és talajeróziós vizsgálatok a nagy-egedi terroir esetében. — *A Magyarhoni Földtani Társulat Alföldi Területi Csoport és a MTA Debreceni Akadémiai Bizottság Környezetföldtani és Paleoökológiai Munkabizottság által szervezett előadói ülés, Debrecen, 2010. 04. 02.*
- NOVOTHNY, Á., RUSZKICZAY RÜDIGER, ZS., HORVÁTH, E., FRECHEN, M., CSILLAG, G. 2010: Dating of Danube terraces. — *Leibniz Pakt Project Final Workshop, Hannover, Germany, 25–26/10/2010.*
- NOVOTHNY, Á., RUSZKICZAY RÜDIGER, ZS., HORVÁTH, E., FRECHEN, M., CSILLAG, G. 2010: Luminescence dating of Danube terraces in Hungary — preliminary results. — *German LED (Luminescence and Electron spin resonance Dating) Meeting, Innsbruck, Austria, 5–7/11/2010. Poster.*
- ÓSI A., RABI M., KORDOS L., FITOS A. 2010: A gerecsei krokodil: a legteljesebb Stenosaurus (Thalattosuchia: Teleosauridae) maradvány az alpi liászból. — *13. Magyar Őslénytani Vándorgyűlés, Csákvár, 2010. 06. 03.*
- PAPP P. 2010: Nevezéktan és megismerés-történet a Kárpát-medence térségében (vázlatos áttekintés és névhasználati javaslat a földrajz és földtan területén). — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 2010. 04. 08–11.*
- PETRIK A., JORDÁN GY. 2010: A Villányi-hegység és térségének morfológiai, morfológiai vizsgálata digitális terepmodell alapján. — *GEOGRÁFIA 2010. 5. Magyar Földrajzi Konferencia, Pécs, 2010. 11. 05.*
- PETRIK A., JORDÁN GY. 2010: A Villányi-hegység és térségének morfológiai, morfológiai vizsgálata digitális terepmodell alapján. — *HUNGEO 2010. Magyar Földtudományi Szakemberek X. Világtalálkozója. Régiók – Határmentiség – Peremterületek, Szombathely, 2010. 08. 17.*
- PÜSPÖKI Z., DEMETER G., TÓTHNÉ MAKK Á., BUDAY T. 2010: Szekvenciaszartigráfiai alkalmazások nyírségi karotázskorrelációk és a negyedidőszaki rétegsor fejlődéstörténeti modellezése kapcsán. — *Szekvenciaszartigráfiai alapú vízföldtani modellezés Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében: A HURO/0801/121 sz. projekt partnerek valamint az MTA DAB Hidrológiai Munkabizottság és a Környezetföldtani és Paleoökológiai Munkabizottság közös rendezésében, Debrecen, 2010. 10. 22.*
- PÜSPÖKI Z., DEMETER G., KOMSA J., DIPPONG, T., RÉVAI A., KOVÁCS-PÁLFFY P. 2010: A magyarországi és romániai rétegsorok egységes szemléletű feldolgozásának perspektívái. — *Szekvenciaszartigráfiai alapú vízföldtani modellezés Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében: A HURO/0801/121 sz. projekt partnerek valamint az MTA DAB Hidrológiai Munkabizottság és a Környezetföldtani és Paleoökológiai Munkabizottság közös rendezésében, Debrecen, 2010. 10. 22.*
- REMETEY-FÜLÖPP, G., BREZSNYÁNSZKY, K., SZARKA, L., HAAS, J., ÁDÁM, J. 2010: Promoting the International Year of Planet Earth in Hungary — lessons learned applicable in the Digital Earth context. — *Digital Earth Summit, Nessebar, Bulgaria, 12–14/06/2010.*
- RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., BRAUCHER R., CSILLAG G., FODOR L. 2010: Cosmogenic <sup>10</sup>Be dating of Danube terraces in Hungary. — *19. Congress of the Carpathian–Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23–26/09/2010.*
- RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., BRACHER R., CSILLAG G. FODOR L. I., DUNAI T. J., BADA G., BOURLÉS D., MÜLLER P. 2010: Negyedidőszaki szélcsiszolta felszínek datálása a Dunántúlon helyben keletkező kozmogén izotópokkal. — *GEOGRÁFIA 2010. 5. Magyar Földrajzi Konferencia, Pécs, 2010. 11. 06.*
- SCHAREK, P. 2010: Geological results of the bilateral projects. — *The results of the Mexican–Hungarian cooperation in earth sciences, 1995–2010 workshop, Geological Institute of Hungary (MÁFI), Budapest, 10/09/2010.*
- SEBE K., CSILLAG G., THAMÓNÉ BOZSÓ E. 2010: Platóhelyzetű eolikus képződmények és formák a Dunántúli-középhegységben. — *GEOGRÁFIA 2010. 5. Magyar Földrajzi Konferencia, Pécs, 2010. 11. 04–06.*
- SOMODI A., JORDÁN GY. 2010: Érces meddőhányók hatása környezetre. — *12. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia = Mining, Metallurgy and Geology Conference, Nagyenyed (Aiud), Románia, 2010. 04. 08–11.*
- SZARKA L., BREZSNYÁNSZKY K. 2010: Körkép a Földről — körkép az emberiségről. — *A környezetvédelem filozófiai alapjai, Kőbányai Szabó Ervin Könyvtár a Pataki Művelődési Házban, Budapest, 2010. 10. 29.*
- SZARKA, L., ÁDÁM, J., BREZSNYÁNSZKY, K., HAAS, J., KAKAS, K., KOPPÁN, A. and the IYPE NC Team 2010: Highlights and impacts of the International Year of Planet Earth in Hungary. — *7th EGU (European Geosciences Union) General Assembly, Wien, 02–07/05/2010.*
- SZENDREI G., KOVÁCS-PÁLFFY P., FÖLDVÁRI M., GÁLNÉ SÓLYMOS K. 2010: Vas-mangánborsók ásványtani jellemzése hazai hidromorf talajok néhány jellegzetes szelvényében. — *A Magyar Talajtani Társaság (MTT) Talajásványtani Szakosztály Jubileumi Ülése, megalakulásának 25. évfordulója alkalmából, MTA Talajtani és Agrokémiailag Kutató Intézet, Budapest, 2010. 10. 28.*
- SZÓCS, T. 2010: Arsenic, fluoride and methane in Hungarian Groundwaters. — *International Conference. Geogenic Chemicals in Groundwaters and Soils: A research training network (AquaTRAIN), BRGM, Orléans, 8–9/07/2010.*
- SZÓCS T. 2010: Beszámoló a mexikói víz-közet kölcsönhatás témájú konferenciáról. — *IAH (International Association of Hydrogeologists) Magyar Nemzeti Bizottság (MNB) előadói nap, ELTE, Lágymányosi tömb, A épület, Budapest, 2010. 12. 10.*
- SZÓCS, T. 2010: Characterizing Hungarian Groundwaters. — *AquaTRAIN workshop, CEU, Budapest, 18/02/2010.*
- SZÓCS T. 2010: Characterizing Hungarian Groundwaters. COST637 — *Action workshop, OKI, Budapest, 18/03/2010.*
- SZÓCS T. 2010: A tagdíjak 10%-ának kérdése, az MFT – IAH MNT megállapodás ismertetése. — *IAH (International Association*

- of Hydrogeologists) Magyar Nemzeti Bizottság (MNB) előadói nap, ELTE, Lágymányosi tömb, A épület, Budapest, 2010. 12. 10.
- SZŐCS T. 2010: Úti beszámoló a 2009. évi 37. IAH Kongresszusról (Hyderabad, India). — IAH (International Association of Hydrogeologists) Magyar Nemzeti Bizottság (MNB) előadói nap, MTA Geokémiai Kutatóintézet, Budapest, 2010. 05. 06.
- SZŐCS T. 2010: Vezetőségi beszámoló az elmúlt 2 évről. — IAH (International Association of Hydrogeologists) Magyar Nemzeti Bizottság (MNB) előadói nap, MTA Geokémiai Kutatóintézet, Budapest, 2010. 05. 06.
- SZŐCS, T., DEÁK, J., TÓTH, GY., ZÖLDI, I., TULLNER, T. 2010: Groundwater Quality in Hungary — results of EU River Basin Management Plan. — XXXVIII IAH (International Association of Hydrogeologists) Congress. *Groundwater Quality Sustainability*, Krakow, 12–17/09/2010.
- SZŐCS, T., HORVÁTH, I., BARTHA, A., BERTALAN, É., TÓTH, GY., BALLÓK, M. 2010: Arsenic speciation and mobility in shallow groundwater: An example from Hungary. — 13th International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-13), Guanajuato, Mexico, 16–20/08/2010.
- SZŐCS, T., TÓTH, GY., MARCIN, D., NÁDOR, A., HALMAI, J., HOFMANN, T., ČERNAK, R., SCHUBERT, G., LAPANJE, A., KOVAČOVA, E., ROTÁR-SZALKAI, Á., GOETZL, G. 2010: Transenergy — Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia. — XXXVIII IAH (International Association of Hydrogeologists) Congress. *Groundwater Quality Sustainability*, Krakow, 12–17/09/2010.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., MAGYARI, Á. 2010: Tracing the origin of some loess and loess-like sediments in Transdanubia and valleys of Ér- and Berettyó Rivers by the help of OSL dating and heavy mineral analysis. — *International Workshop on Loess Research and Geomorphology*, Pécs, Magyarország, INQUA Loess Focus Group & Carpatho-Balkan Geomorphological Commission, 17–21/10/2010.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E., NÁDOR A., MAGYARI Á., 2010: Késő-pleisztocén–holocén törmelékes üledékes kőzetek kora, származása, és a folyóvízhálózat változásai OSL kormeghatározás és nehézasvány vizsgálat alapján. — *Első Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony*, 2010. 06. 11.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E., FIEBIG, M., PREUSSER, F., STEFFEN, D., 2010: Duna menti fiatal üledékképződés és egy kikötő 16. századbeli feltöltődése a lumineszcens és dendrokronológiai koradatok tükrében. — *Környezettörténet 2010 Konferencia. Környezeti események a honfoglalástól napjainkig történeti és természettudományi források tükrében*, Budapest, 2010. 02. 04–05.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., CSILLAG, G., FODOR, L., MÜLLER, P. M., NAGY, A. 2010: OSL dating on quartz in the north-eastern Transdanubian Central Range (Hungary). — 10th International Conference “Methods of Absolute Chronology”, Gliwice, Poland, 22–25/04/2010.
- THAMÓ-BOZSÓ, E., CSILLAG, G., KÁKAY-SZABÓ, O., KÓNYA, P., MÜLLER, P. 2010: A study of wind-polished rock surfaces in the Transdanubian Range (Hungary). — 20th General Meeting of IMA, Budapest, 21–27/08/2010. Poster.
- TÓTH GY., HORVÁTH I., MURÁTI J., ROTÁRNÉ SZ. Á., SZŐCS T., VETŐ I., 2010: „XL Pannon hidrogeológiai modell fejlesztése és lehetőségei a vízgyűjtő gazdálkodásban”. — XVII. Konferencia a felszín alatti vizekről, Siófok, 2010. 03. 24–25.
- TÓTH GY., SCHAREK P., NOVÁK B., MURÁTI J. 2010: Mit tegyünk a Duna-menti ivóvíz kincsünk megóvásáért? — a felszín alatti vizek stratégiai jelentősége. — *A tudomány szerepe az Európai Duna-térségi stratégia megalapozásában*, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 2010. 11. 04.
- UNGER Z. 2010: Fraskálgeometriai elemzések a földtani kutatásban. — 12. Székelyföldi Geológus Találkozó. Dénes István emlékkonferencia, Barót, 2010. 10. 28–31.
- VICZIÁN I. 2010: Geomorfológiai és környezettörténeti kutatások a Dráva völgyében, Berzence környékén. — *GEOGRÁFIA 2010. 5. Magyar Földrajzi Konferencia, Pécs*, 2010. 11. 06.
- WACHA, L., KOLOSZÁR, L., CHIKÁN, G., GALOVIC, L., MAGYARI, Á., MARSI, I., TSUKAMOTO, S. 2010: IRSL dating of a Quaternary sediment succession in Sarengrad, Eastern Croatia. — 4. Hrvatski geoloski kongress medunarodim sudjelovanje. *Knjiga sazetka = 4. Croatian Geological Congress. Abstracts Book*, Šibenik, Croatia, 14–15/10/2010.
- YILMAZ, I. O., ÖZCAN, E., LESS, GY., OKAY, A., FODOR, L., NAGY-PÁLFALVY, S. 2010: Evolution and stepwise drowning of a ramp-type carbonate platform in Thrace Basin, NW Turkey (Late Middle Eocene – Oligocene). — *Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia*, Ankara, Turkey, 4–8/10/2010.
- ZELENKA T. 2010: A pálházi perlit és a nagybózsvai szurokkő breccsa kutatások kőzettani-genetikai eredményei. — *Első Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony*, 2010. 06. 11.
- ZELENKA T., GYARMATI P., KISS J., VÉRTESSY L., HORVÁTH I., MÁRTONNÉ SZALAY E., PÉCSKAY Z. 2010: Paleovulkáni rekonstrukció a Tokaji hegységről (kőzettani, geokémiai, geofizikai adatok). — *Első Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony*, 2010. 06. 11.

## Szakcikkek — Scientific publications

## Szél által polírozott pleisztocén kőzetfelszínek vizsgálati eredményei a Dunántúli-középhegységből

*Study of Pleistocene wind polished rock surfaces in the Transdanubian Range*

THAMÓNÉ BOZSÓ EDIT, CSILLAG GÁBOR, KÁKAY-SZABÓ ORSOLYA,  
KÓNYA PÉTER, KIRÁLY EDIT, MÜLLER PÁL MIHÁLY

Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.



Tárgyszavak: polírozott kőzetfelszín, éleskavics, kőzetbevonat, sivatagi máz, pleisztocén, Dunántúli-középhegység

### Kivonat

A pleisztocén polírozott kőzetfelszínek részletesebb vizsgálatához hét lelőhelyről tizennégy darab mintát gyűjtöttünk a Dunántúli-középhegység ÉK-i részéből és a Keszthelyi-hegységből. Kvarcit, tűzkő, metahomokkő, mészkő és dolomit anyagú éleskavicsokat, egyéb polírozott felszínű kavicsokat és sziklafelszíneket tanulmányoztunk vékonycsiszolatok, pásztázó elektromikroszkópos (SEM-EDS), röntgendiffrakciós, lézerablációs induktív csatolású plazma tömegspektrométeres (LA-ICP-MS), és elektron-mikroszondás vizsgálatok segítségével. A sima és fényes polírozott kőzetfelszíneken szabad szemmel megfigyelhető egymással nagyjából párhuzamosan elhelyezkedő barázdák, a sarkos kavicsok lapjai, élei, és a felszínek mikromorfológiája egyaránt bizonyítja, hogy szélérozó hatására alakultak ki. A felszínek simasága a kőzetanyagtól függően változik, a tűzkő anyagú éleskavicsok a legsimábbak, a szél által leginkább megmunkáltak.

A polírozott kőzetek felülete néhány mm vastagságban sötétebb, limonitos elszíneződésű, bontott, és néha az eredeti kőzet kissé fellazult darabjait is tartalmazza. Gyakran egy legkülső, csupán néhány század mm vastagságú sötétbarna-fekete szegély is megfigyelhető, ami a kőzetmázhoz (sivatagi mázhoz) hasonló, de ez utóbbiakkal ellentétben mikrorétegeket nem tartalmaz. A vizsgált polírozott felszíneken általában gyakoribb a goethit, az agyagásványok, és egy-egy esetben a kvarc és a klorit, illetve több a Fe, a Mg, a Mn és néha az Al is a kőzetek belsejéhez képest. Ezeknek az elemeknek a mennyisége helyenként fokozatosan csökken a kőzet szélétől befelé haladva.

A vizsgált kőzetfelszínek valószínűleg előbb mállásnak voltak kitéve, miközben felületükre limonit és kevés Mn-oxid vált ki, és rajtuk dolomitot is tartalmazó hulló poranyag kötődött meg. Ezután az erős szelek által szállított szemcsék hatására felpolírozták, amit felszíni agyagtartalmuk is elősegített.

Key words: wind polished rock surface, dreikanter, rock varnish, desert varnish, Pleistocene, Transdanubian Central Range

### Abstract

Fourteen samples from seven locations in the NE part of the Transdanubian Range and from the Keszthely Mts were collected for detailed analysis of the Pleistocene wind polished rock surfaces. We studied quartzite, chert, metasandstone, limestone and dolomite dreikanter, other polished gravels and rock surfaces by thin sections, scanning electron microscope (SEM-EDS), X-ray diffraction, LA-ICP-MS and microprobe. The macroscopic grooves, which are more or less parallel to each other on the smooth and shiny polished rock surfaces, the facet surfaces and facet edges of the dreikanter, and the micromorphology of the surfaces also prove that they were formed by wind erosion. The smoothness of the surfaces depends on the rock types, the chert dreikanter are the smoothest.

The surface of the polished rocks is dark with limonite coloration and weathered in a few mm thicknesses. Sometimes it contains the loosen pieces of the original rock. Frequently there is an outermost dark brown - black rim with a few hundredth mm thickness, which is very similar to the rock varnish (desert varnish), but we did not find microlamination in it. Usually on the studied polished surfaces goethite, clay minerals, and sometimes quartz and chlorite are more frequent, and there is higher amount of Fe, Mg, Mn and rarely Al too comparing to the inside of the rocks. The concentration of these chemical elements gradually decreases from the surface to the inner parts of the rocks.

Probably, the studied rock surfaces were weathered first, meanwhile limonite and a small amount of Mn-oxid were precipitated and some dust with dolomite content was fixed on them. Then the grains carried by strong winds polished the surfaces of the rocks by the assistance of the clays on their surfaces.

## Bevezetés

A fényes és sima polírozott kőzetfelszínnek jellegzetes megjelenésük miatt könnyen felismerhetők, leggyakrabban éleskavicsokon láthatók, de nagyobb kőzettömbök, szálban álló sziklák felszínén is előfordulnak. Magyarországon már több mint egy évszázaddal ezelőtt találtak fényes felszínű, többnyire síklapokkal határolt éleskavicsokat (PAPP 1899, TAEGER 1909, SCHRÉTER 1910, LÓCZY 1913). A Dunántúli-középhegységéből először TAEGER (1909) írt le ilyen kavicsokat a Vértes környezetéből, majd LÓCZY (1913) a Balaton-felvidékről, CHOLNOKY (1918) Tapolca közeléből, JASKÓ (1937) a Déli-Bakonyból, PÉCSI (1959, 1987) a Vértes és a Gerecse környékéről, és a részletes földtani térképezések során egyre több helyről kerültek elő (JÁMBOR, 1973, 1992, BENCE et al. 1990, BUDAI et al. 1999, CSILLAG, FODOR 2008, CSILLAG et al. 2008, FODOR et al. 2008). A hazai éleskavics előfordulásokat JÁMBOR (1992, 2002) összesítette az irodalmi adatok, szóbeli közlések, és saját észlelései alapján.

LÓCZY (1913) és CHOLNOKY (1918) nyomán az éleskavicsok keletkezését a szélnek, a szél által szállított szemcsék koptató, polírozó hatásának tulajdonítjuk, és elsősorban a pleisztocén száraz, hideg időszakaira tesszük, amikor erős volt a deflációs tevékenység. Az eddig talált sarkos kavicsok rétegtani helyzete is pleisztocén kori képződésüket támasztja alá (JÁMBOR, KÖRÖSI 1969, CSILLAG et al. 2010), amikor az erős, főként ÉNy-i szelek deflációs tevékenysége nyomán szélcsatornák, maradékgerincek (yardangok) és deflációs mélyedések is képződtek (CSILLAG et al. 2010). Ugyanakkor PÉCSI (1986) felvetette, hogy korábbi, a „messinai krízis”-sel kapcsolatos arid esemény is szerepet játszhatott az éleskavicsok kialakulásában, amikor SCHWEITZER (1997, 2000, 2001; SCHWEITZER, SZŐR 1992) és FÁBIÁN et al. (2002) szerint egy száraz-meleg félsivatagi, ill. sivatagi klímába hajló időszak során vörös és vörösesbarna, amorf kova, goethit, kalcit és néha mangánit tartalmú sivatagi fénymáz keletkezett a Dunántúlon és a Pesti-síkság ÉK-i részén.

A szakirodalom szerint a fényes felszínű kőzeteken sivatagi máz (desert varnish), más néven kőzetmáz (rock varnish) és SiO<sub>2</sub> máz (silica glaze) fordulhat elő. A kőzetmáz általában 100 µm, maximum 600 µm vastagságú sima, egyenletes felszínű, fényes bevonat, melynek színe a sötét barnától a feketéig változik (néha vörös), általában nagy agyagásvány (kb. 50–70%), vas- és mangánoxid, -hidroxid tartalommal (kb. 15–50%) rendelkezik, valamint többféle ritkaelemet tartalmaz, és különböző összetételű, színű mikrorétegekből áll (PERRY, ADAMS, 1978, CERVENY et al. 2007). A kőzetmáz képződése még nem teljesen tisztázott. Anyagának nagy része leülepedett szállóporból származhat, amely nedvesség (harmit) hatására megkötődik a kőzetek felszínén (FLEISHER et al. 1999, THIAGARAJAN, LEE, 2004), és a kialakulásában a kémiai folyamatok (oldódás, kicsapódás) mellett valószínűleg a mikrobáknak is fontos szerepe van (DORN, OBERLANDER, 1981, 1982). Sokféle teresztrikus környezetben képződik, de elsősorban az

arid és szemi-arid sivatagokban őrződik meg. Kőzetmázat az éleskavicsok felszínéről is leírtak, ugyanakkor azt is megfigyelték, hogy a szél deflációs hatása meg is semmisítheti. Még a Marson is előfordulnak hasonló megjelenésű kőzetfelszínnek, melyek lehetséges biológiai eredetük miatt a marsi élet kutatásának egyik célpontját képezik (DIGREGORIO 2002).

A kőzetmáz kialakulása nagyon lassú, ezer év alatt csak néhány mikronnal vagy néhány tíz mikronnal növekszik a vastagsága. Paleoklíma-indikátornak tartják, mivel az USA nyugati részének száraz területéről vizsgált mázakban a Mn-szegény sárga színű laminák a holocén és az utolsó interglaciális száraz időszakaiban, a Mn- és Ba-gazdag, fekete mikrorétegek az utolsó glaciális nedves szakaszaiban (Younger Dryas, Heinrich events), a közepes Mn-tartalmú narancssárga laminák pedig az extrém száraz és a nedves periódusok közötti átmeneti időszakokban képződtek (BROECKER, LIU, 2001, LIU, BROECKER, 2008). A mikrorétegek korrelatív kormeghatározásra is alkalmasak, ha azokat az oxigénizotóp emelettel összevetik és AMS <sup>14</sup>C koradatokkal kiegészítik (pl. DORN, 1988, LIU, BROECKER, 2008).

A SiO<sub>2</sub> máz legfeljebb 200 µm vastag, fényes, csillogó, áttetsző, fehér, narancssárga vagy sötétebb színű, ritkán vörösesbarna–fekete, amorf SiO<sub>2</sub> alkotja különböző mennyiségű alumínium- és vastartalommal. Előfordul meleg és hideg sivatagokban egyaránt, de trópusi területekről, valamint a mérsékelt övből is leírták. Valószínűleg Al-Si komplexek kicsapódásával képződik a kőzetek mállása során oldatba került alumíniumból és szilíciumból (CERVENY et al. 2007).

### Az éleskavicsok és polírozott kőzetfelszínnek elterjedése és anyaga a Dunántúli-középhegységben

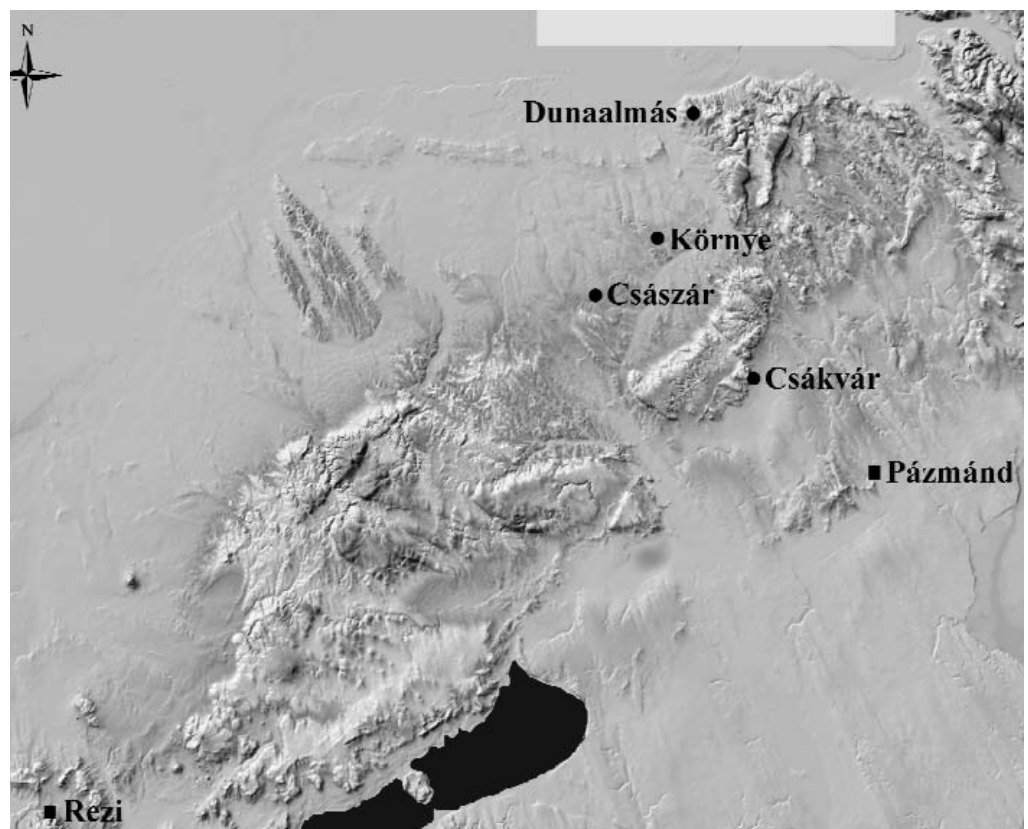
Az ismert hazai éleskavics előfordulások elterjedési térképe az 1. ábrán látható. Eszerint az éleskavicsok leg többje a Dunántúli ÉNy-i részén, azon belül a Dunántúli-középhegységben található, ritkábbak a Mecsek déli előterében, ahonnan az utóbbi időben számos új előfordulás vált ismertté (SEBE 2009, SEBE, LACZIK 2009), a Gödöllői-dombság területén, a Börzsönyben, és a Tokaji-hegységben. Az ábrából az is kitűnik, hogy a Dunántúli-középhegység északnyugati, szélnek leginkább kitett oldalán és különösen a szélcsatornában, pl. a Keszthelyi-hegység és a Bakony (Sümege és Tapolca) között a leggyakoribbak. JÁMBOR (1992) megfigyelései szerint a Dunántúli-középhegység ÉNy-i részén az éleskavicsok erősebben megmunkáltak, mint a hegység DK-i előterében.

A Dunántúli-középhegységben az éleskavicsok anyaga dolomit, kvarcit, metamorfit, tűzkő, triász-, jura- és eocén mészkő, oligocén kovásodott famaradvány, kalkrít, és bazalt (JÁMBOR, 1992, CSILLAG et al. 2010). A csiszolt kőzetfelszínnek anyagát felső-pannoniai homokkő, kavicsos homokkő (Kállai Kavics Formáció) alkotja a Káli-medencében, a





1. ábra. Hazai éleskavics előfordulások JÁMBOR (1992) és CSILLAG et al. (2010) nyomán  
Figure 1. Locations of dreikanter in Hungary after JÁMBOR (1992) and CSILLAG et al. (2010)



2. ábra. A minták lelőhelyei (• éleskavics, ■ polírozott kőzetfelszín)

Figure 2. Locations of the samples (• dreikanter, ■ polished rock surface)

Keszthelyi-hegységben és a Vértesben; kovás kőzetek a Velencei-hegységben és perm Balatonfelvidéki Homokkő a Káli-medence DNy-i peremén (CSILLAG et al. 2010).

### Minták és vizsgálati módszerek

A polírozott kőzetfelszínek részletesebb vizsgálatához hét lelőhelyről tizennégy darab mintát gyűjtöttünk. A lelőhelyek a 2. ábrán láthatók. A Vértestől ÉNy-ra Környéről három, a Császárról melletti Karpatuspusztáról kettő, Duna-almásról egy fényes felszínű kavicsot, illetve éleskavicsot vizsgáltunk. A Vértes DK-i előterében a csákvári volt katonai repülőteréről egy éleskavicsot, a Velencei-hegységből a pázmándi Zsidó-hegy egy szélcsiszolta sziklatömbjéből egy kis darabkát, a Keszthelyi-hegység ÉNy-i részén a Rezi Bányafő-tetőről és a Rezi-vár mellől pedig három-három polírozott felszínű kőzetdarabot gyűjtöttük be. Minden lelőhelyen a legszebb, legjobban megmunkált kőzeteket választottuk ki vizsgálatra.

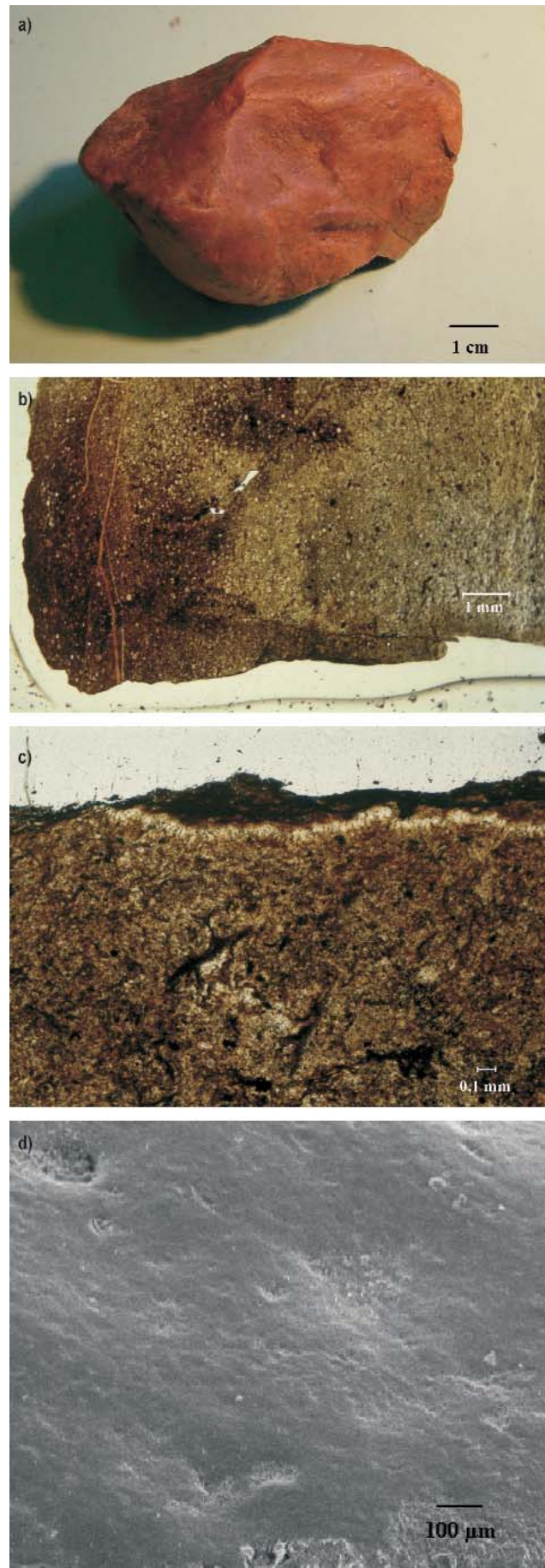
Az éleskavicsok és polírozott kőzetdarabok mindegyikéből készült vékonycsiszolat, mégpedig a szokásos 30 µm-esnél vékonyabb, mivel a sivatagi mázagnál leírt mikroretek tanulmányozásához ultravékony csiszolatok szükségesek. A kőzetfelszínek mikromorfológiáját pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételekkel, a kőzetek belsejének és felszínének összetételét SEM-EDS elem-spektrumok, néhány röntgendiffrakciós, lézerablációs indukció csatolású plazma tömegspektrométeres (LA-ICP-MS), és elektron-mikroszondás mérés segítségével vizsgáltuk. A SEM vizsgálatokat JEOL JSM-35 pásztázó elektronmikroszkóppal és EDAX feltétellel, a RTG elemzést Philips PW 1730 röntgendiffraktométerrel, az LA-ICP-MS méréseket Perkin Elmer ELAN DRC II tömegspektrométerhez csatlakoztatott NewWave Up213 lézerablációs feltétellel végeztük a Magyar Állami Földtani Intézetben. A mikroszondás vizsgálat a Geokémiai Kutatóintézetben készült JEOL JCXA-733 elektron-mikroszondával.

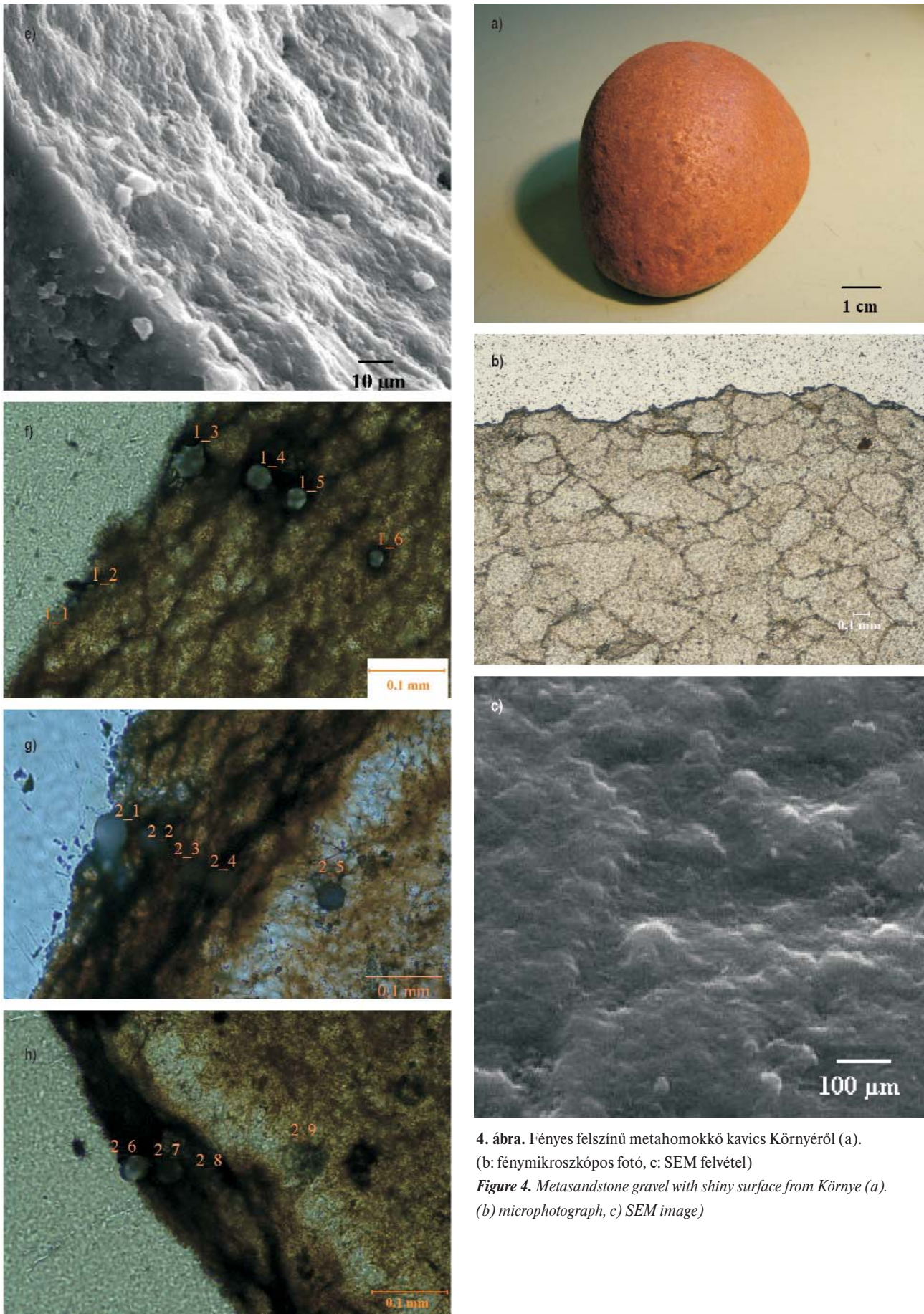
### Vizsgálati eredmények

Környéről két barna színű, 3×3×2 és 8×8×5 cm-es tűzkő éleskavicsot (3. ábra, a), valamint egy világosszürke 6,5×4×4,5 cm-es metahomokkő-kavicsot (4. ábra, a) vizsgáltunk. A tűzkőkavicsok erősen megmunkáltak, hat-hét fényes (zsírfényű), sima, nagyjából síklappal határoltak. Az egyikén egy korábbi törési felület is látszik, ami szintén polírozott. A kavicsok felszínén helyenként limonit, dendrites Mn-oxid és fehér porszerű kalcitkiválás látható. A

**3. ábra.** Tűzkő éleskavics Környéről (a). (b-c: fénymikroszkópos fotók, d-e: SEM felvételek, f-h: fénymikroszkópos fotók az LA-ICP-MS mérési pontokkal)

**Figure 3.** Chert dreikanter from Környe(a). (b-c: microphotographs, d-e: SEM images, f-h: microphotographs with the marks of the measuring points of LA-ICP-MS study)





4. ábra. Fényes felszínű metahomokkő kavics Környéről (a).  
(b: fénymikroszkópos fotó, c: SEM felvétel)

Figure 4. Metasandstone gravel with shiny surface from Környe (a).  
(b) microphotograph, c) SEM image)

tűzkő hajszálvékony egyenetlen lefutású litoklázisok mentén, és foltokban, valamint 1–7 mm vastagságban a szegélye mentén bontottabb, limonitos elszíneződésű. A vékonycsiszolaton látható, hogy a kavics felszíne teljesen sima, vagy kissé egyenetlen (3. ábra, b), és helyenként néhány tized mm, legfeljebb 0,4 mm vastag sötétbarna-fekete szegély is megfigyelhető rajta, amely a kavics belseje felé fokozatos, egyenetlen átmenetet mutat, vagy egy kb. 0,1 mm vastagságú világosszürke átmenettel rendelkezik (3. ábra, c).

A kavics felszíne a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat szerint is nagyon sima (3. ábra, d), a felületi egyenet-

lenségek kicsik, általában nem érik el a 10 µm-es mélységet, és hosszanti, nagyjából párhuzamos bemélyedéseket, barázdákat alkotnak (3. ábra, e). A SEM-EDS vizsgálat szerint a polírozott felszínen a Si dominál, és kevés Mg is kimutatható, míg a kőzet belsejében a Si mellett kevés Mg, Ca, Fe és K is akad. A kavics lekapart felszíni részének és belsejének RTG vizsgálattal megállapított összetétele is eltérést mutat, a felszínen több a goethit, az illit és a klorit, míg kevesebb a kvarc (1. táblázat).

Az LA-ICP-MS és a mikroszondás mérésekkel a kavics sötétbarna-fekete szegélyét sikerült részletesebben tanul-

**1. táblázat.** A polírozott kőzetek felszínének és belsejének röntgendiffrakciós vizsgálati eredményei  
*Table 1. Results of the X-ray diffraction analysis of the polished rock surfaces and the inside of the rocks*

Minta	Illit	Kaolinit	Klorit	Agyagásvány	Kvarc	Plagioklász	Kalcit	Dolomit	Goethit	Rutil	Topáz
Környe, tűzkő kavics felszíne	3		2		90	1			4		
Környe, tűzkő kavics belseje				2	97		ny		1		
Csákvár, dolomit kavics felszíne	14				13		12	61			
Csákvár, dolomit kavics belseje					1		ny	99			
Pázmánd, hidrokvarcit szikla felszíne		2			84				8	1	5
Pázmánd, hidrokvarcit szikla belseje					86				13	1	

**2. táblázat.** LA-ICP-MS vizsgálatnál mért izotópok relatív koncentrációja egy környei tűzkő éleskavics felszíne alatt (A mérési pontok helye a 3. ábra f–h fotóin látható)

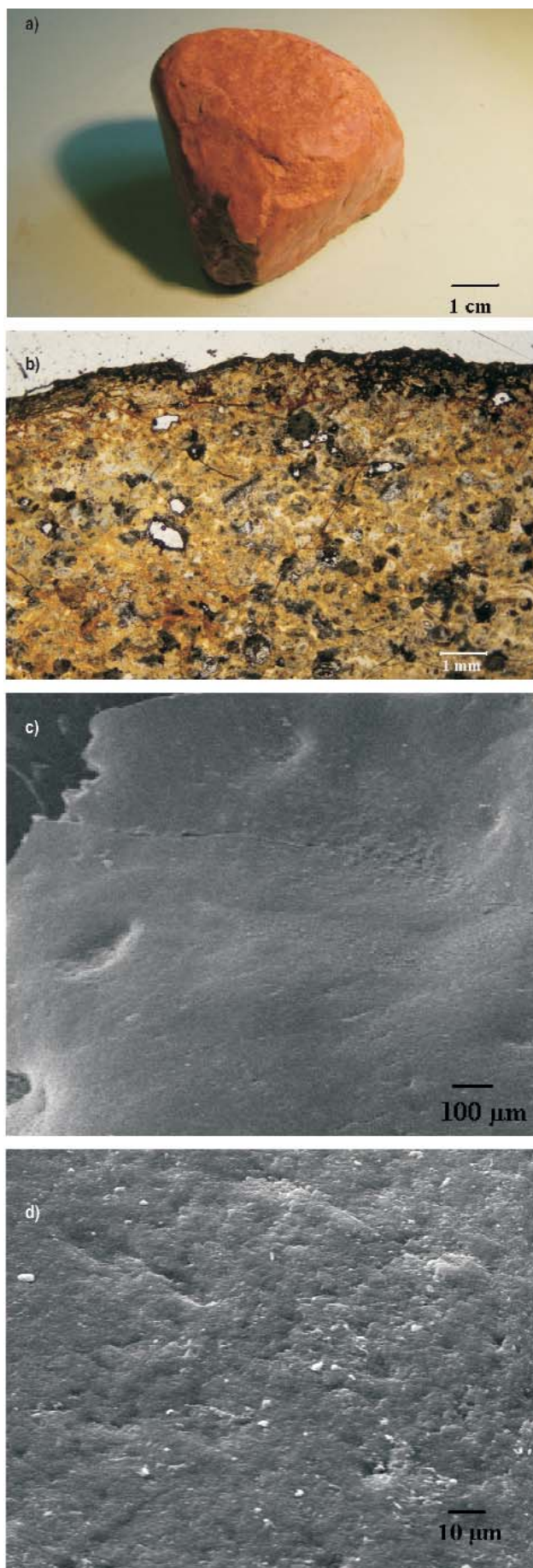
**Table 2.** Relative concentration of some isotopes measured by LA-ICP-MS analysis under the surface of a chert dreikanter (Figure 3 f–h photos show the locations of the measuring points)

Mérési pont	Mg24	Mn55	Fe56	Fe57
1_1	193	3	4 303	1 974
1_2	481	33	4 081	2 376
1_3	6705	1484	215425	129397
1_4	8969	615	124382	65975
1_5	7348	402	92646	49778
1_6	2831	290	74268	40192
2_1	5753	657	89645	49580
2_2	10399	879	171569	105945
2_3	13750	1319	251099	162255
2_4	10818	1066	203273	137377
2_5	885	146	34591	25054
2_6	9822	1199	164048	112211
2_7	7900	681	120993	92091
2_8	7048	380	68117	55160
2_9	1240	155	24147	22131

mányozni. Ebben a szegélyben az eredeti kőzet fellazult, bontott darabjai is megfigyelhetők mikroszkóppal (3. ábra, f–h). A szegélyben a vashoz képest a magnézium részaránya átlagosan csak 3%, a mangáné pedig 3%, és ezeknek az elemeknek a mennyisége két esetben fokozatosan csökkent a kavics szélétől a belseje felé haladva (2. táblázat). A szegély nagyobb Fe-tartalmát a mikroszondás vizsgálat is alátámasztotta, és K-ot is talált, ugyanakkor a Mg és a Mn jelenlétét nem sikerült ezzel a módszerrel kimutatni.

A Környéről gyűjtött harmadik fényes felszínű kavicsot egy jól kerekített félgömb és egy síklap határolja (4. ábra, a), kőzetanyaga kovás kötőanyagú metahomokkő. Felszíne polírozott, amit azonban a későbbi folyamatok kissé felülbélyegeztek. Rajta sok apró, 0,5–1 mm-es bemélyedés látszik a kimállott ásványok helyén. A bemélyedésekben helyenként fehér porszerű kalcit vált ki. A kavics vágási felületén szabad szemmel is látható egy kb. 2–4 mm vastag sötétebb szürke, kissé mállott felszíni szegély, az üde kőzet felé fokozatos átmenettel. A kavicsból készült vékonycsiszolaton látszanak a felszín egyenetlenségei, melyek a homokkő szemcséivel azonos méretűek, és egy 0,01–0,02 mm vastag sötét homogén szegély is kivehető (4. ábra, b). A felszín egyenetlenségei a SEM képen is jól látszanak (4. ábra, c). A SEM-EDS vizsgálat a kavics belsejében és felszínén a Si mellett kevés Mg, Fe és Al jelenlétét mutatta ki, a felszínen lényegesen nagyobb Fe- és Al-tartalommal.

A Császár, Karpatuspusztáról gyűjtött két barna színű, 6×5×4 és 6×5×4,5 cm-es éleskavics anyaga tűzkő. Az



egyiket hat erősen megmunkált sík lap (5. ábra, a), a másikat közepesen megmunkált, kissé domború lapok határolják. Anyaguk, belső szerkezetük, limonitos átítatódású szegélyük egyaránt nagyon hasonló a Környéről vizsgált tűzkövkavicsokhoz, de a felszínükön sok bemélyedés fordul elő a kioldott ásványok helyén. Vékonycsiszolatban sötétbarna-fekete, 0,01 és 1,0 mm közötti vastagságú felrepedezett, bontott szegély figyelhető meg (5. ábra, b). A SEM felvételeken jól látható a sima felszín a kerek bemélyedésekkel (5. ábra, c–d). A SEM-EDS mérések szerint a kavics belseje és felszíne nagyon hasonló összetételű, a Si mellette kevés Mg-, Ca- és Fe-tartalommal.

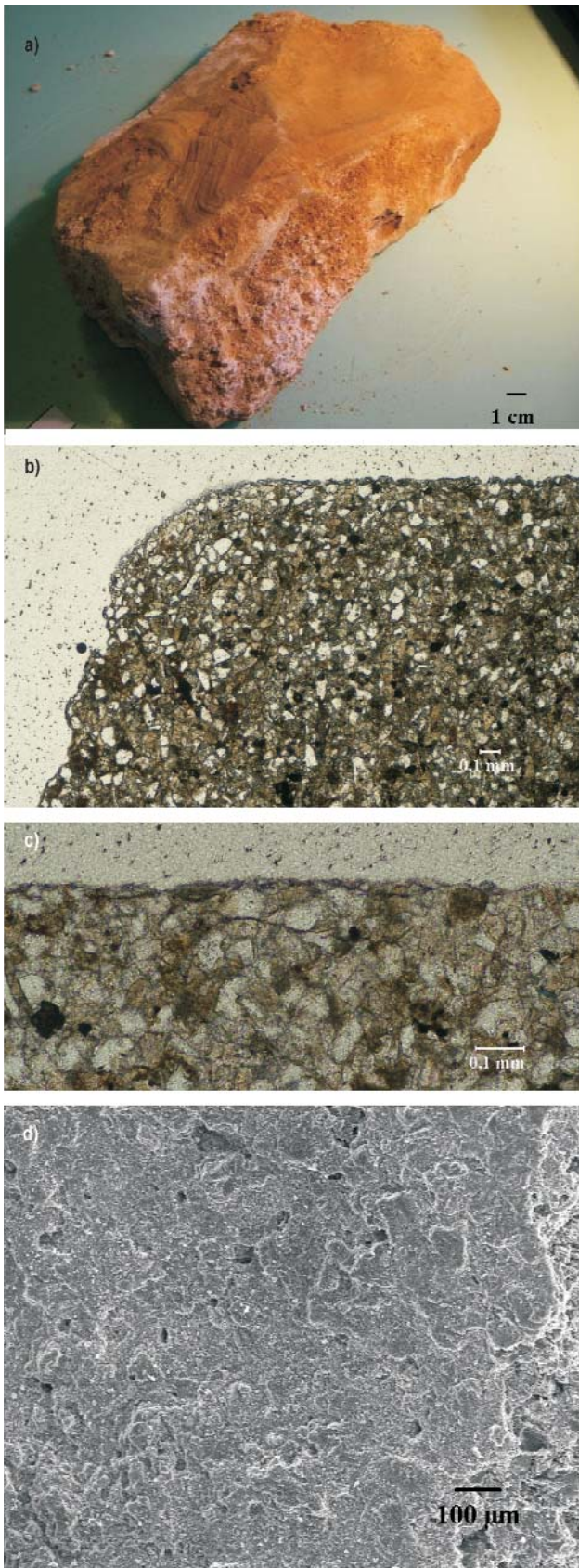
Dunaalmásról egy barnásszürke, 26×17×8 cm-es mészkövkavicsot vizsgáltunk részletesebben. Hat oldalából három polírozott volt, részben lekoptattak (6. ábra, a). Egyik oldalán a mészkő 1–2 mm vastag rétegei kiproparálódtak. Helyenként limonit és fehér porszerű kalcitkiválás borítja. Felszíne sötétebb barna, rozsdabarna, 1–2 mm vastagságban bontott, az üde kőzet felé fokozatos, egyenetlen átmenettel. A kőzet hajszálvékony egyenetlen litoklázisok mentén limonitos elszíneződésű. A vékonycsiszolaton látható, hogy a mészkő jelentős aleurit- és homoktartalommal rendelkezik, a kőzetperem felszíne sima és egyenetlen részek váltakozásából áll, és helyenként nagyon vékony (néhány század mm-es) sötétebb homogén szegély is felismerhető (6. ábra, b–c). A SEM képen sok felszíni egyenetlenség figyelhető meg (6. ábra, d).

A Csákvárról vizsgált világos sárgás-drapp színű, 9×5×4 cm-es éleskavics anyaga dolomit. Hat határoló lapja egyenetlen, közülük négy erősen megmunkált, kissé fényes (zsírfényű). Egyik oldalán sűrűn, irányítottan, közel párhuzamosan 0,1–2 mm mélységű barázdák láthatók (7. ábra, a). A polírozottságot a kavics egyik oldalán a későbbi folyamatok felülbélyegezték, amit fehér porszerű kalcit-, fekete Mn-oxid-kiválás és limonitos elszíneződés jelez. Egy másik oldala a Mn-oxid-kiválást követően is polírozódott. Vékonycsiszolatban a kavics felszínén kisebb-nagyobb egyenetlenségek láthatók, amelyek felülete azonban sima, és max. 0,01 mm vastag sötétebb drapp homogén szegély is megfigyelhető (7. ábra, b). A dolomitot mozaikosan opak ásványokkal kitöltött hajszálvékony litoklázisok járák át, és 1–2 mm-es szabálytalan üregek is előfordulnak benne. A SEM felvételeken lépcsőzetesen elhelyezkedő viszonylag sima felületek látszanak (7. ábra, c). A dolomit éleskavics polírozott felszínén a SEM-EDS vizsgálat a Ca mellett kevesebb Mg és Si jelenlétét mutatta ki. A RTG vizsgálat szerint (1. táblázat) a kavics belsejét 99%-ban dolomit alkotja, a felszínén viszont a dolomit részaránya csak 61%, és jelentős az illit, a kvarc és a kalcit mennyisége (14, 13 és 12%).

A Keszthelyi-hegység ÉNy-i részén a Bányafő-tetőről és a Rezi-vár mellől gyűjtött polírozott felszínű kőzetdara-

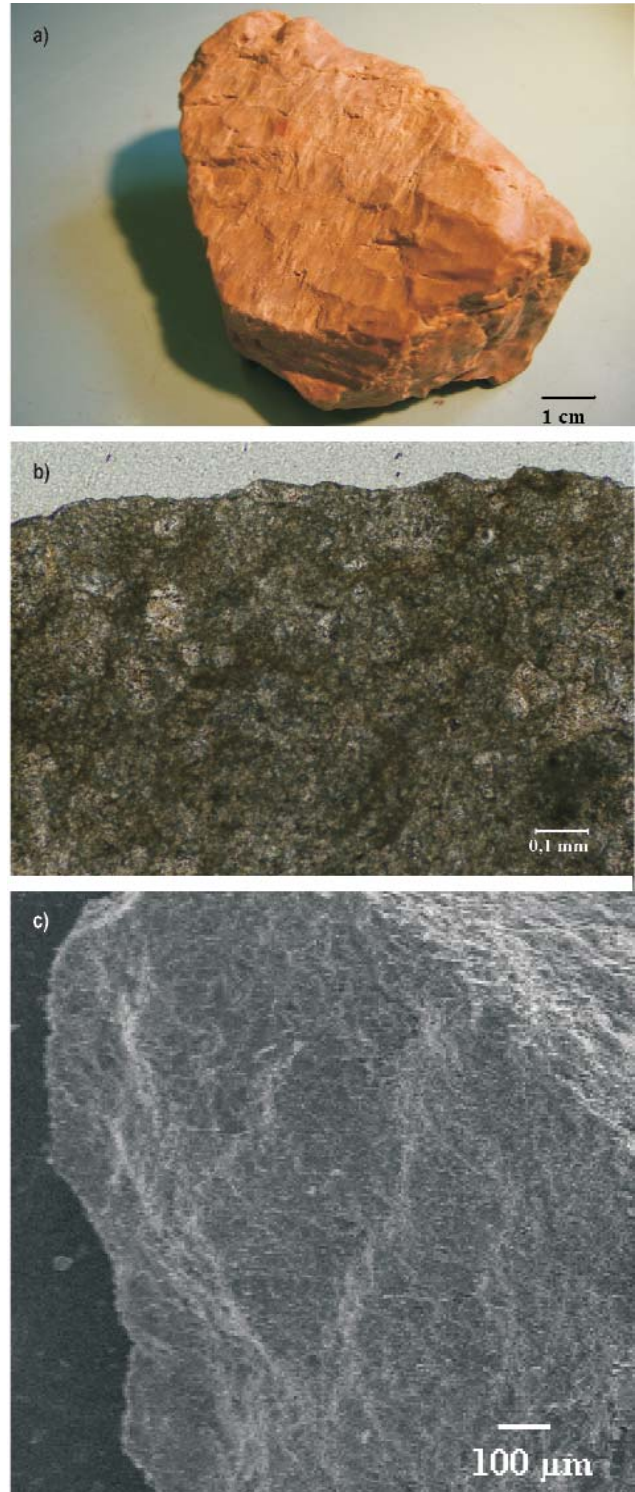
**5. ábra.** Tűzkö éleskavics Császáról (a). (b: fénymikroszkópos fotó, c-d: SEM felvételek)

**Figure 5.** Chert dreikanter from Császár (a). (b: microphotograph, c-d: SEM images)



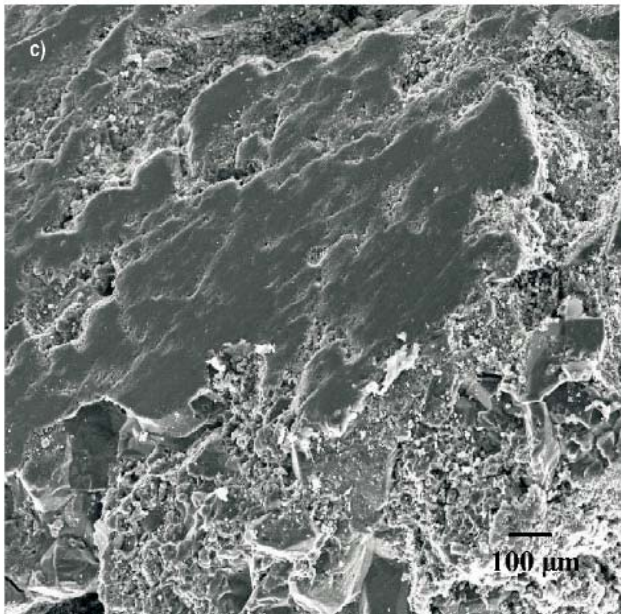
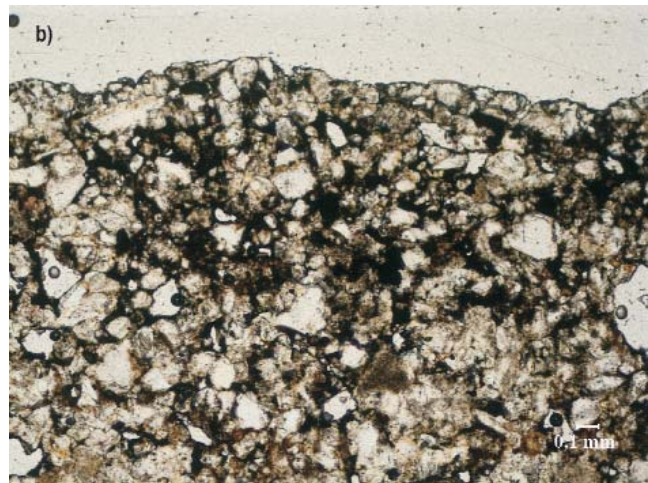
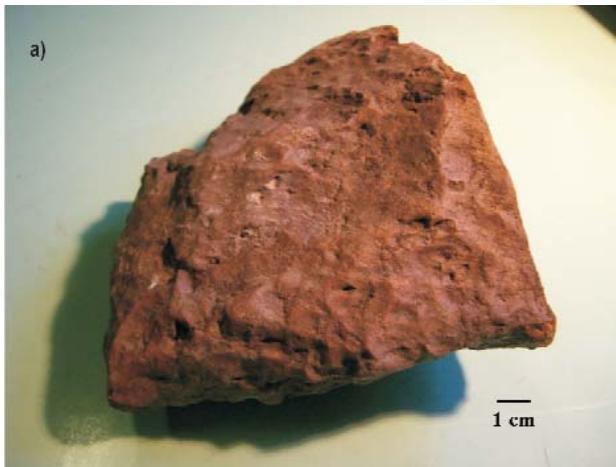
**6. ábra.** Mésző kavics Dunaalmásról (a). (b-c: fénymikroszkópos fotók, d: SEM felvétel)

*Figure 6.* Limestone gravel from Dunaalmás (a). (b-c: microphotograph, d: SEM image)



**7. ábra.** Dolomit éleskavics Csákvárról (a). (b: fénymikroszkópos fotó, c: SEM felvétel)

*Figure 7.* Dolomite dreikanter from Csákvár (a). (b: microphotograph, c: SEM image)



**8. ábra.** Polírozott felszínű kvarcit a Keszthelyi-hegységből (Rezi-vár) (a). (b) fénymikroszkópos fotó, (c) SEM felvétel

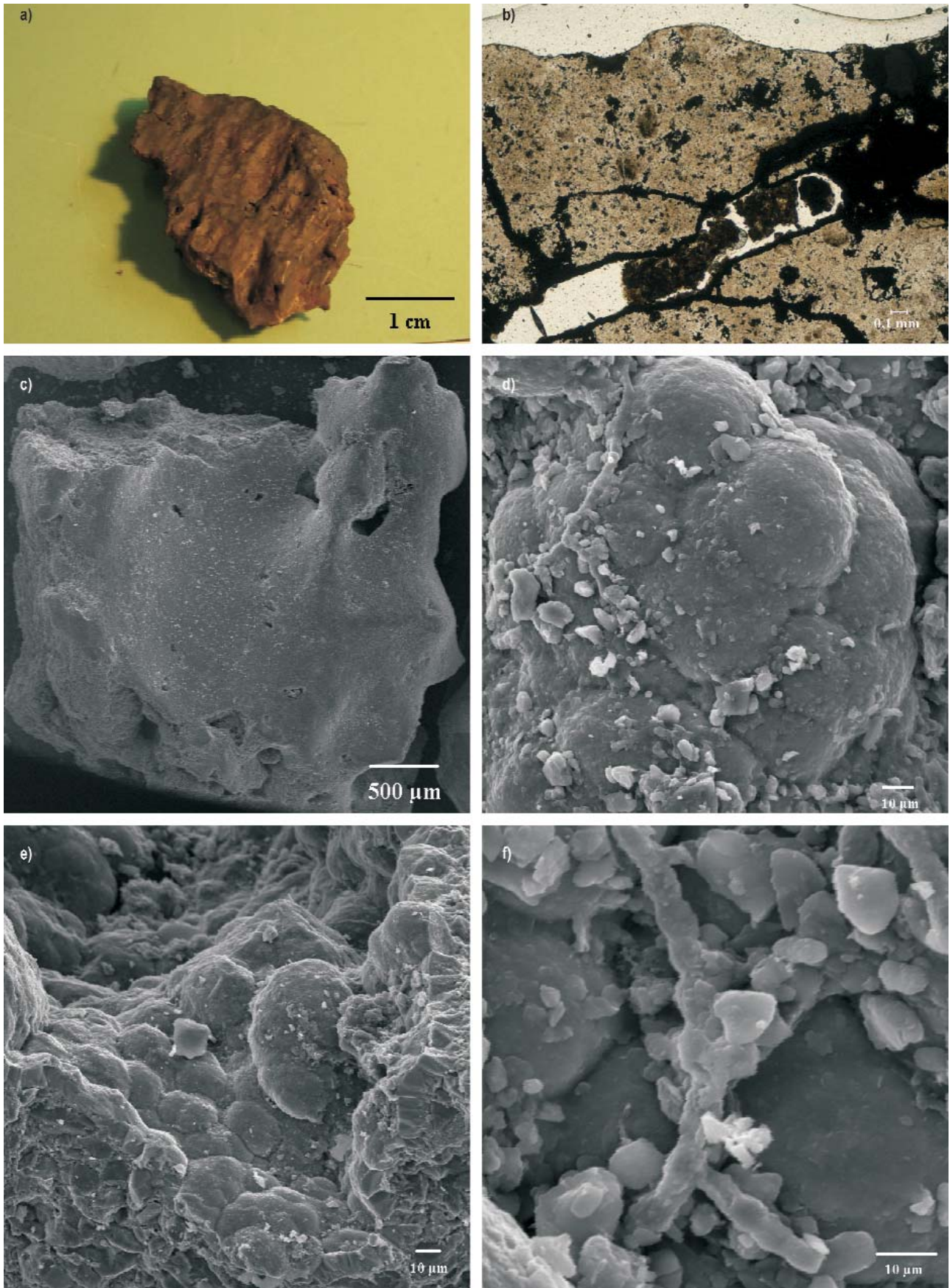
*Figure 8. Quartzite with polished surface from the Keszthelyi-mountains (Rezi-vár) (a). (b: microphotograph, c: SEM image)*

hattak vissza (8. ábra, c). A SEM-EDS vizsgálat a kőzet felszínén a Si mellett kevés Mg és némi Fe, K, és Ca jelenlétét mutatta ki.

A pázmándi Zsidó-hegy egy fényes felszínű sziklatömbjéből vizsgált kőzet anyaga hidrokvarcit, amely középső-felső-eocén (alsó-oligocén) andezit hidrotermális, ill. metasomatikus átalakulásával képződött (GYALOG et al. 2004). A kőzet felszíne sötétbarna–fekete, egyenetlen, rajta közel párhuzamosan 1–2 mm mély vágatok, barázdák figyelhetők meg (9. ábra, a), de helyenként erősen bontott, porló, matt. A kőzet sötétbarna, szürkefoltos, kemény, sok hajszálvékony egyenetlen litoklázist, valamint 0,1–1 mm-es kerek üregeket és felszíni bemélyedéseket tartalmaz, melyekben finomszemű ásványkiválás látszik.

A vékonycsiszolaton megfigyelhető a rendkívül sima polírozott kőzetfelszín, valamint jól látszanak a litoklázisok, az üregek, és az üregkitöltések (9. ábra, b). A kőzetten általában nem látni szegélyt, de egyes helyeken előfordul néhány mikronos sötétebb felszíni rész. A RTG vizsgálat eredményei alapján a kőzet belsejét és felszínét egyaránt elsősorban kvarc alkotja, valamint goethit és rutil is kimutatható, a kőzetfelszínen pedig topáz és kaolinit is előfordult (1. táblázat). A SEM képeken a sima és hullámos felszín mellett az üregkitöltő gömbös, hosszúkás és pelyhes ásványkiválások is látszanak (9. ábra, c–f). A gömbös és hosszúkás kiválásokat a SEM-EDS vizsgálat szerint elsősorban Fe, valamint kevés Si, Al, és Mg alkotja. A pelyhes kiválásokban a Si dominál és viszonylag sok bennük az Al és a Mg, valamint kevés Fe és Ti is kimutatható belőlük. Ezeket az adatokat a RTG vizsgálat eredményeivel összevetve (1. táblázat) a gömbös és megnyúlt kiválásokat goethit alkotja, a pelyhes kiválásokat pedig agyagásványok (kaolinit és illit).

bokat szürke és szürke–rozsdabarna limonitfoltos kvarcit alkotja, amely felső-pannoniai kovás kötőanyagú homokkőből (Kállai Kavics Formáció) alakult ki (8. ábra, a). A kőzet sok, általában 0,5–2 (max. 10) mm-es kerek és hosszúkás üreget tartalmaz a kioldott ásványok helyén. Az üregek néha egyenetlen lefutású litoklázisok mentén helyezkednek el, és falukat helyenként limonit, Mn-oxid(?), és kalcit borítja. A kőzetdarabok felszíne egyenetlen, bontott, rozsdabarna, limonitos, kissé fényes (zsírfényű), a polírozottságot a későbbi folyamatok részben felülbélyegezték (Mn-oxid és finomszemű fehér kalcitkiválás). A kőzet friss vágási felületén szabad szemmel 1–8 mm vastag bontott, barna, limonitos szegély látható, amely a kőzet belseje felé fokozatos és egyenetlen átmenettel rendelkezik. Mikroszkóppal vizsgálva a kőzet szegélye helyenként fellazultnak tűnik 0,1–0,7 mm vastagságban (8. ábra, b). A polírozott felszínnek SEM felvételein a sima felületek között többnyire 0,1–0,2 mm-es, ritkábban annál nagyobb bemélyedések láthatók, amelyek a kvarcit eredeti anyagát alkotó homokkő kimálolt, vagy kipergett ásványzemcséinek helyén marad-



**9. ábra.** Polírozott hidrokvarcit sziklafelszín a pázmándi Zsidó-hegyről (a). (b: fénymikroszkópos fotó, c-f: SEM felvételek)  
*Figure 9.* Polished hydroquartzite surface from Pázmánd, Zsidó Hill (a). (b: microphotograph, c-f: SEM images)



## A vizsgált polírozott kőzetfelszínek közös jellemzői és képződésük

A Dunántúli-középhegységből általunk tanulmányozott éleskavicsokra és polírozott kőzetfelszínekre jellemző, hogy szabad szemmel vizsgálva teljes felületük, vagy annak egy része sima, fényes (zsírfényű). Egyes kőzeteken egymással párhuzamosan elhelyezkedő fényes felszínű barázdák, hosszanti vajatok is megfigyelhetők. A sima és fényes felszínek, a barázdák, és a sarkos kavicsok fényes lapjai, élei egyaránt az eolikus erózióra jellemző formák (BOURKE, VILES, 2007). Ilyen formák gyakoriak a sivatagokban, a periglaciális területeken, valamint a tengerpartokon, esetleg tavak és folyók parti síkságain, ahol az erős szelek által szállított szemcsék koptató hatására alakulnak ki. Elsősorban a homokszemcsék koptatják, csiszolják a kőzeteket a szél felőli oldalukon, de a kőzetlisztnak, sőt a hónak is van koptató hatása (BOURKE, VILES, 2007, BALOGH 1991). A kőzetek kopásának mértéke nagyon változó lehet, pl. Oregonban (USA) a jelenlegi tengerparton a homokkő és diabáz kőzettömbökön 0,24–1,63 mm/év kopást mértek (KNIGHT, BURNINGHAM 2003).

A vékonycsiszolatok és a SEM felvételek alapján az általunk vizsgált polírozott felszínek még mikrométerekben is nagyon simák, ami a szél által megmunkált felszínekre jellemző. A SEM képeken látható kerek bemélyedések és párhuzamos mikrobarázdák szintén szél hatására alakultak ki. A felszínek simasága a kőzet anyagától és szövetétől függően változik, a tűzkő éleskavicsok a legsimábbak, a szél által leginkább megmunkáltak, azokon csak kevés bemélyedés vagy barázdá látszik, a polírozott metahomokkővön és kvarcitokon viszont sok a felszíni bemélyedés a kioldott, vagy kipergett ásványok helyén.

A polírozott kőzetek friss vágási felületén néhány mm-es, az adott kőzetnél sötétebb, gyakran limonitos elszíneződésű, bontott felszíni szegély látható, amelynek fokozatos, egyenetlen az átmenete a kőzet belső része felé. A részletesebben vizsgált környei tűzkő éleskavics esetében a szegély az eredeti kőzet fellazult, bontott darabjait is tartalmazza. Egy keszthelyi-hegységi kvarcitra is megfigyelhető volt ilyen fellazult szegély. A polírozott felszíneken a RTG vizsgálat szerint általában gyakoribb a goethit, az agyag-ásványok, és egy-egy esetben a kvarc és a klorit is a kőzet belsejéhez képest. Az elemi összetételt tekintve a SEM-EDS és a mikroszondás mérések alapján a vizsgált polírozott kőzetek felszíni szegélyében több az Fe, a Mg, és néha az Al is, mint beljebb. A RTG vizsgálat és a SEM spektrumok (WELTON 1984) alapján a vas főként limonit formájában, a magnézium elsősorban az agyag-ásványok (illit, illit-szmektit, esetleg vermikulit) alkotórészeként jelenik meg.

Az LA-ICP-MS mérések szerint a környei tűzkő éleskavics szegélyében a vashoz képest néhány százaléknyi a magnézium, és néhány ezreléknyi a mangán részaránya, és ezeknek az elemeknek a mennyisége helyenként fokozatosan csökkent a kavics szélétől a belseje felé. Vékonycsiszolatban általában még egy legkülső nagyon vékony, néhány század mm-es sötétbarna-fekete homogén szegély is megfigyelhető.

Mindezek elsősorban arra utalnak, hogy a vizsgált kavicsok és kőzetfelszínek előbb mállásnak voltak kitéve, melynek során kialakult rajtuk egy néhány mm vastag bontott, agyag-ásvány- és limonittartalmú felszíni szegély. A kőzetfelszínekre limonit és kevés Mn-oxid vált ki, és hullott poranyag is megkötődött. Az utóbbira utalhat a Mg-tartalom, amely a Dunántúli-középhegységben nagy területen felszínre bukkanó és gyakran porló dolomitból kerülhetett a levegőbe. A Duna–Tisza köze negyedidőszaki üledékeiben kimutatott Mg-, illetve dolomittartalom kapcsán szintén felmerült ez a magyarázat (FÜGEDI et al. 2005, 2008).

Az így kialakult felszínek felpolírozódását az erős szelek által szállított szemcsék koptató hatása okozta. A felszínek agyagtartalma elősegítette a felpolírozódást, mivel az agyag a felszíneken szétkenődve azokat fényessé, zsírfényűvé tette. A polírozott kőzetfelszíneket a későbbi folyamatok gyakran felülbélyegezték, például fehér porszerű kalcit, fekete, helyenként dendrites Mn-oxid és rozsdabarna limonit vált ki rajtuk.

A vizsgált pleisztocén polírozott felszínek megjelenése és összetétele hasonló a szakirodalomban leírt kőzetmázakhoz, vagy sivatagi mázakhoz, de az azokra jellemző mikrorétegeket nem találtuk meg. Ennek több oka is lehet. Egyrészt, lehet, hogy a mikrorétegek kifejlődtek ugyan, de nem őrződtek meg a későbbi deflációs vagy nedves időszak miatt. Másrészt, az is előfordulhat, hogy a vizsgált területen nem alakultak ki ilyen mikrorétegek, harmadrészt az sem kizárt, hogy nem sikerült elég vékony csiszolatot készítenünk. Ezért mindenképpen fontos lenne további minták gyűjtése és még részletesebb vizsgálata, például a csiszolatokról mikroszondás elemeloszlási térképek készítése.

## Köszönetnyilvánítás

A polírozott kőzetfelszínek vizsgálata az OTKA K-62478 kutatás keretében történt. A mikroszondás vizsgálatért Dr. Dobosi Gábornak, hasznos észrevételeiért és tanácsaiért pedig Dr. Jámbor Áronnak tartozunk köszönettel.

## Irodalom — References

- BALOGH K. 1991: A szél szállító és lerakó tevékenysége. — In BALOGH K. (szerk.): *Szedimentológia I.* Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 191–226.
- BENCE G., BERNHARDT B., BIHARI D., BÁLINT Cs., CSÁSZÁR G., GYALOG L., HAAS J., HORVÁTH I., JÁMBOR Á., KAISER M., KÉRI J., KÓKAY J., KONDA J., LELKESNÉ FELVÁRI Gy., MAJOROS Gy., PEREGI Zs., RAINCSÁK Gy., SOLTI G., TÓTH Á., TÓTH Gy. 1990: *A Bakony hegység földtani képződményei. Magyarázó a Bakony hegység fedetlen földtani térképéhez 1:50 000.* — Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa, 119 p.
- BOURKE, M. C., VILES, H. A. 2007: Aeolian Features. — In: BOURKE, M. C., VILES, H. A. (eds.): *A Photographic Atlas of Rock Breakdown Features in Geomorphic Environments.* — Planetary Science Institute, Tucson, pp. 6–22.
- BROECKER, W. S., LIU, T. 2001: Rock varnish: Recorder of desert wetness? — *Geological Society of America Today* 11, pp. 4–10.
- BUDAI T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., DUDKÓ A., KOLOSZÁR L., MAJOROS Gy. 1999: *A Balaton-felvidék földtana. Magyarázó a Balatonfelvidék földtani térképéhez, 1:50 000.* — Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa 197, 257 p.
- CERVENY, N. V., DORN, R. I., GORDON, S. J., WHITLEY, D. S. 2007: Atlas of petroglyph weathering forms used in the rock art stability Index (RASI). — <http://alliance.la.asu.edu/rockart/stabilityindex/RASIAtlas.html>.
- CHOLNOKY J. 1918: A Balaton hidrográfiája. — In: Lóczy L. (szerk.): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei III.*, 318 p.
- CSILLAG G., FODOR L. 2008: Geomorfológia. — In: BUDAI T., FODOR L. (szerk.): *A Vértes földtana. Magyarázó a Vértes 1:50 000-es földtani térképéhez.* — Magyarország tájegységi térképsorozata, Magyar Állami Földtani Intézet, pp. 135–144.
- CSILLAG G., FODOR L., LANTOS Z., THAMÓNÉ BOZSÓ E., SELMECZI I., SZTANÓ O. 2008: Pliocén–kvarter. — In: BUDAI T., FODOR L. (szerk.): *A Vértes földtana. Magyarázó a Vértes 1:50 000-es földtani térképéhez.* — Magyarország tájegységi térképsorozata, Magyar Állami Földtani Intézet, pp. 110–133.
- CSILLAG G., FODOR L., SEBE K., MÜLLER P. M., RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs., THAMÓNÉ BOZSÓ E., BADA G. 2010: Deflációs formák és folyamatok a Dunántúl hegységi területein és környezetükben. — *Földtani Közlöny* 140, pp. 463–481.
- DIGREGORIO, B. E. 2002: Rock varnish as a habitat for extant life on Mars. — *Proceedings Society of Photographic Instrumentation Engineers* 4495, pp. 120–130.
- DORN, R. I. 1988: A rock varnish interpretation of alluvial-fan development in Death Valley, California. — *National Geographic Research* 4, pp. 56–73.
- DORN, R. I., OBERLANDER, T. M., 1981. Microbial Origin of Desert Varnish. — *Science* 213, pp. 1245–1247.
- DORN, R. I., OBERLANDER, T. M. 1982. Rock varnish. — *Progress in Physical Geography* 6, pp. 317–367.
- FÁBIÁN, Sz. Á., KOVÁCS, J., VARGA G. 2002: Újabb sivatagi fénymázás kérgék Magyarországról. — *Földrajzi Értesítő* 51, pp. 407–412.
- FLEISHER, M., LIU, T., BROECKER, W. S., MOORE, W. 1999: A clue regarding the origin of rock varnish. — *Geophysical Research Letters* 26, pp. 103–106.
- FODOR L., CSILLAG G., LANTOS Z., BUDAI T., SELMECZI I. 2008: *A Vértes földtani térképe. M=1:50 000.* — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- FÜGEDI U., SZURKOS G., VERMES J. 2005: Éghajlatváltozások geokémiai hatásai Magyarország középső és keleti részén. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2004-ről*, 65–71.
- FÜGEDI U., POCSAI T., KUTI L., HORVÁTH I., VATAI J. 2008: A mészfelhalmozódás földtani okai Közép-Magyarország talajaiban. — *Agrokémia és Talajtan* 57, pp. 239–260.
- GYALOG L., HORVÁTH I., DARIDÁNÉ TICHY M., DUDKÓ A., ÓDOR L. 2004: A Velencei-hegység és a Balatonfő földtana. Magyarázó a Velencei-hegység földtani térképéhez (1:25 000) és a Balatonfő–Velencei-hegység mélyföldtani térképéhez (1:100 000). — Magyarország tájegységi térképsorozata, Magyar Állami Földtani Intézet, 316 p.
- JASKÓ S. 1937: Pleisztocén éleskavicsok a Déli-Bakonyból. — *Földtani Közlöny* 67, pp. 331–333.
- JÁMBOR Á. 1973: A Dunántúli-középhegység negyedidőszaki képződményeinek összefoglaló ismertetése. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, Budapest.
- JÁMBOR, Á. 1992: Pleistocene ventifact occurrences in Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* 35 (4), pp. 407–436.
- JÁMBOR Á. 2002: A magyarországi pleisztocén éleskavics előfordulásai és földtani jelentőségük. — *Földtani Közlöny* 132, pp. 101–116.
- JÁMBOR Á., KÖRPÁS L. 1969: A Dunántúli-középhegység kavicsképződményeinek rétegtani helyzete. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* 62, 258 p.
- LIU, T., BROECKER, W. S. 2008: Rock varnish microlamination dating of late Quaternary geomorphic features in the drylands of western USA. — *Geomorphology* 93, pp. 501–523.
- KNIGHT, J., BURNINGHAM, H. 2003: Recent ventifact development in the Central Oregon coast, western USA. — *Earth Surface Processes and Landforms* 28, pp. 87–98.
- LÓCZY L. id. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. — In: Lóczy L. (szerk.): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei III.*, 617 p.
- PAPP K. 1899: Éles kavicsok (dreikanterek) Magyarország hajdani pusztáin. — *Földtani Közlöny* 29, pp. 35–146.
- PERRY, R. S., ADAMS, J. 1978: Desert varnish: evidence of cyclic deposition of manganese. — *Nature* 276, pp. 489–491.
- PÉCSI M. 1959: *A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalaktana.* — Akadémiai Kiadó, Budapest, 346 p.
- PÉCSI M. 1986: A zalai meridionális völgyek, dombhátak kialakulásának magyarázata. — *Földrajzi Közlemények* 34, pp. 3–10.
- PÉCSI M. (szerk.) 1987: *A Dunántúli-középhegység.* — Akadémiai Kiadó, Budapest, 500 p.
- SCHRÉTER Z. 1910: A Magyarhoni Földtani Társulat kirándulása Nógrád és Szokolyahuta környékére 1910. május 26-án. — *Földtani Közlöny* 40, pp. 373–376.
- SCHWEITZER, F. 1997: On late Miocene – early Pliocene desert climate in the Carpathian Basin. — *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Supplement-Band* 110, pp. 37–43.
- SCHWEITZER F. 2000: A Kárpát-medence domborzatformálódása a késő kainozoikumban és a pliocén időszak. — In: LOVÁSZ Gy., SZABÓ G.: *Területfejlesztés – regionális kutatások.* Pécs, PTE TTK Földrajzi Intézet, pp. 13–29.
- SCHWEITZER F. 2001. A Kárpát-medence félsivatagi és sztepsíkság-formálódása és a messinai sókrízis. — *Földrajzi Értesítő* 50, pp. 9–31.

- SCHWEITZER F., SZŐŐR GY. 1992: Adatok a Magyar-medence száraz-meleg klímájához a mogyoródi „sivatagi kéreg” alapján. — *Földrajzi Közlemények* 116, pp. 105–123.
- SEBE K. 2009: A Nyugat-Mecsek és környezete tektonikus geomorfológiai elemzése. — *Kézirat*, PhD disszertáció, Pécsi Tudományegyetem, 113 p.
- SEBE K., LACZIK D. 2009: Jelentős pleisztocén defláció nyomai a Mecsekalján. — In: FÁBIÁN SZ. Á., GÖRCS N. L. (szerk.): 100 éves a jégkorszak: A jégkorszaki klímaváltozások kutatása Penck-Brücknertől napjainkig (1909–2009). — Pécsi Tudományegyetem TTK Földrajzi Intézet, p. 34.
- TAEGER H. 1909: A Vérteshegység földtani viszonyai. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* 17, 256 p.
- THIAGARAJAN, N., LEE, C.T.A. 2004: Trace-element evidence for the origin of desert varnish by direct aqueous atmospheric deposition. — *Earth and Planetary Science Letters* 224, pp. 131–141.
- WELTON, J. E. 1984: *SEM Petrology Atlas*. — The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 237 p.

# A Pilis-vonulat triász képződményeinek földtani kutatása — beszámoló a 68224 számú OTKA projekt eredményeiről

## *Geological investigations of the Pilis Range*

BUDAI TAMÁS<sup>1</sup>, HAAS JÁNOS<sup>2</sup>, PIROS OLGA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Magyar Állami Földtani Intézet, H-1143 Budapest Stefánia út 14.

<sup>2</sup>ELTE-MTA Geológiai Kutatócsoport, H-1117 Budapest Pázmány sétány 1/c.

Tárgyszavak: nori, platform, medence, dasycladacea, Pilis

### Kivonat

A Pilis-vonulat Dachsteini Mész-kő rétegsora a Neotethys selfjén kialakult sekélytengeri platform háttérágújában képződött a nori során. A nori közepén aktivizálódott extenziós tektonika hatására jött létre a platformon belül a félárok-jellegű Feketehegyi-medence, amelynek lankás egyenlejtés rímpáján viharüledékek, a medence mélyebb régiójában ugyanakkor disztális turbiditék és medenceüledékek rakódtak le. A kiemelt helyzetben maradt blokkok peremét foltzátanyokkal tarkított ooid-homokdombok alkották. A késő-nori legnagyobb elöntés idején a Feketehegyi-medence nyitottabbá vált, majd a nori-rhaeti határon kialakult magasvíz idején a platformlejtő előrenyomult a medence felé.

A pilisszántói kőfejtő sekélytengeri mészkőből előkerült *Diplopora annulata* algafaj közepső-triász platformkarbonát jelenlétére utal a Pilis-tető déli tövéénél, amely tektonikusan érintkezik a nori Dachsteini Mész-kővel.

Key words: Norian, platform, basin, Dasycladles, Pilis Range, Hungary

### Abstract

The Dachstein Limestone of the Pilis range was formed in the internal platform domain of the Dachstein platform system which developed along the margin of the Neotethys during the Norian. As a result of extensional tectonic movements activated in the mid-Norian a half-graben type basin – the Feketehegy Basin – came into existence. On the low-angle side of this basin a homoclinal ramp was developed where proximal storm deposits were accumulated. Basinal carbonates and distal tempestites were deposited in the deepest central part of the intraplatform basin. Ooid shoals with patch reefs were developed along the margin of the elevated blocks. At the time of the Late Norian maximum flooding the Feketehegy Basin became more open; it was probably followed by progradation of the ambient platform during the subsequent latest Norian – earliest Rhaetian highstand period.

*Diplopora annulata* algae was encountered in the shallow marine limestone of the Pilisszántó Quarry indicates the presence of Middle Triassic platform carbonate at the southern edge of the Pilis Hill, it has tectonic contact with the Norian Dachstein Limestone.

### Bevezetés

Az OTKA által támogatott kutatás fő célja a Pilis-vonulat triász képződményeinek részletes rétegtani és szedimentológiai vizsgálata, a platform- és medencefáciesek egymáshoz viszonyított tér- és időbeli kapcsolatának tisztázása, és ezek alapján a platformok és medencék késő-triász fejlődéstörténetének és ősföldrajzi helyzetének rekonstrukciója volt.

A platformkarbonátok vizsgálata céljából részletes és szisztematikus terepi szelvényezést végeztünk a Nagy- és a

Kis-Kevélyen; a Pilis-tető déli oldalának kettős gerincén és a pilisszántói kőfejtőben; a Csévi-szirteken és az Ajándék-barlangban; a Kétágú-hegy vonulatában az Öreg-szirten, a Fehér-szirten és a kesztölci kőfejtőben; valamint a Nagy-Strázsa-hegyen és a Sátorkőpusztai-barlangban. A medencefáciesű rétegsor vizsgálata céljából részletes terepi szelvényezést végeztünk a Fekete-hegyen (Háromszáz-garádics) és a pilisszentléleki Cserepes-völgyben. A mintákból készült (többnyire nagyméretű) csiszolatokon részletes mikrofácies-elemzést végeztünk, és sort kerítettünk a foraminifera-fauna és a mészalga-flóra őslénytani vizsgálatára is.

Jelen dolgozatunkban rövid összefoglalást adunk a kutatás azon eredményeiről, amelyeket bővebben és részletesebben már publikáltunk (HAAS et al. 2010). Kissé bővebben térünk ki azokra az eddig még publikálatlan megfigyeléseinkre, amelyeket a Pilis-vonulat és a Dunántúli-középhegység földtani felépítése és szerkezeti jellegei szempontjából is lényegesnek tartunk.

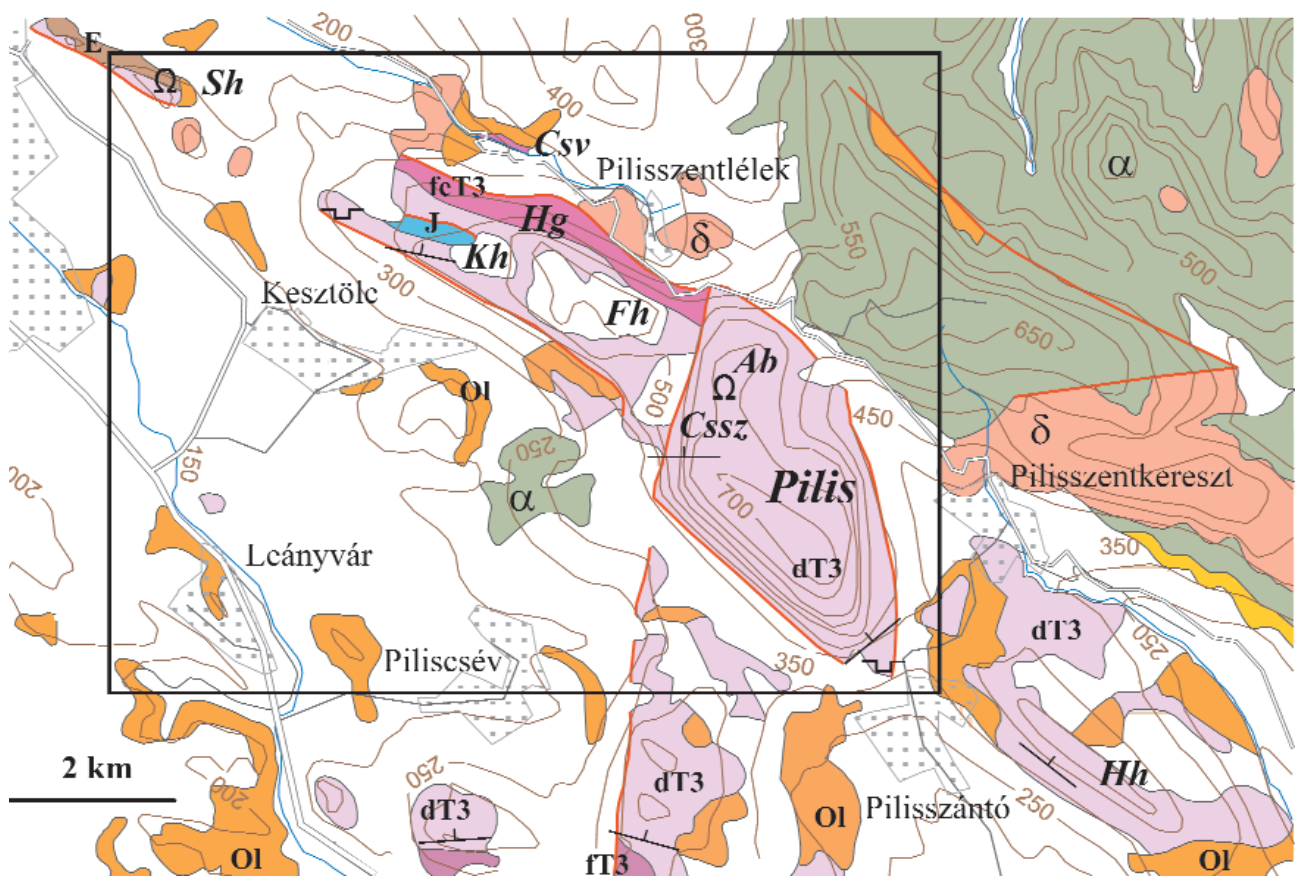
### Földtani felépítés

A Pilis-vonulat triász képződményeit nagy vastagságú felső-triász platformkarbonát rétegsor uralja (1. ábra). A hegység DK-i részét alkotó Kevély-csoportban a Nagy-Kevélyt alkotó Földolomit tektonikusan érintkezik a Kis-Kevély Dachsteini Mészkövével. Az ettől ÉNy felé terjedő hegység (Oszoly, Hosszú-hegy, Pilis) fő tömegét Dachsteini Mészkö alkotja (KOCH 1871, WEIN 1974). A Pilis tömbjétől ÉNy-ra a medencefáciesű Feketehegyi Formáció dolomit, majd mészkő rétegsora bukkan felszínre a Fekete-hegy–Fehérkő vonulatában és a Cserepes-patak völgyében (SCHAFARZIK 1884; SCHAFARZIK & VENDL 1929; NAGY 1964,

1968). Az ezzel részben heteropikus platformfáciesű Dachsteini Mészkö a Pilis hegység ÉNy-i részét alkotó Kétágú-hegy DNy-i meredek sziklás lejtőjét alkotja, majd kisebb rögök formájában (Nagy-Strázsa-hegy, esztergomi Vár-hegy) attól ÉNy-ra is kibukkan (NAGY 1969).

A Pilis-vonulat szerkezetének egyik szembeszökő jellegzetessége — a hegységet lehatároló ÉNy–DK-i irányú fővetők mellett — a triász képződmények csapásának változása a vonulat mentén (1. ábra), amelyre már SCHAFARZIK (1884) is felhívta a figyelmet. A hegység ÉNy-i részén a jellegzetes „középhegységi” ÉK–DNy-i (illetve ahhoz közeli) csapásirány jellemző, és ez uralja még a Pilis tömbjét is (FERENCZ 1953). Attól DK felé azonban a csapás ÉNy–DK-i irányt vesz fel, és a Hosszú-hegy–Kevélyek vonulatában a triász képződmények uralkodó dőlésiránya ÉK-i (SZENTES 1934, HEGEDŰS 1951).

A Pilis-vonulat szerkezeti elemei közé K–Ny-i (illetve ahhoz közeli) csapású törések is tartoznak. FERENCZ (1953) szerint a Pilis tömbjét egy közel K–Ny-i csapású vető törte ketté (nagyjából a Vaskapu–Simon-halála közötti horpadás mentén), és hasonló csapású feltolódáshoz köthető a Földolomit kibukkanása is a Pilis északi sarkát alkotó



**1. ábra.** A Pilis-vonulat ÉNy-i részének földtani térképe a kutatás tárgyát képező terület feltüntetésével (BUDAI, GYALOG 2009 után, módosítva) Rövidítések: Csz – Csévi-szirtek; Csv – Cserepes-völgy; Fh – Fekete-hegy; Hg – Háromszáz-garádics; Hh – Hosszú-hegy; Kh – Kétágú-hegy; Sh – Nagy-Strázsa-hegy. Földtani képződmények: ft3 – Földolomit; dT3 – Dachsteini Mészkö; feT3 – Feketehegyi Formáció; J – jura képződmények; E – eocén képződmények; Ol – oligocén képződmények;  $\alpha$  – andezit;  $\delta$  – dácit.

**Figure 1.** Geological map of the NW part of the Pilis range showing the study area (modified after BUDAI, GYALOG 2009)

Abbreviations: Csz – Csévi Cliffs; Csv – Cserepes Valley; Fh – Fekete Hill; Hg – Háromszáz-garádics; Hh – Hosszú Hill; Kh – Kétágú Hill; Sh – Nagy-Strázsa Hill. Formations: ft3 – Hauptdolomit; dT3 – Dachstein Limestone; feT3 – Feketehegy Formation; J – Jurassic formations; E – Eocene formations; Ol – Oligocene formations;  $\alpha$  – andesite;  $\delta$  – dacite.

Fekete-kőn (FERENCZ 1953; NAGY 1964, 1966, 1969a, b). A Kétágú-hegy és a Kis-hegy közötti nyeregben ÉÉK-re dőlő jura rétegsorra DDNy-i vergenciával toldott rá a Kis-hegy Dachsteini Mészke, szintén közel K–Ny-i csapású szerkezet mentén (BALOGH 1961; NAGY 1969a, b; PALOTAI et al. 2006).

## A kutatás eredményei

### *Rétegtan, őslénytan*

A Dachsteini Mészke részletesen vizsgált szelvényeinek alga-flórája (*Griphoporella curvata*, *Physoporella leptotheca*, *Heteroporella zankli*) és foraminifera-faunája (*Agathammina austroalpina*, *Auloconus permodisoides*, *Aulotortus friedli*, *Involutina* cf. *communis*, *Involutina sinuosa*) alapján a Pilis vonulatában a formációnak a nori emeletbe sorolható része őrződött meg, rhaetire utaló ősmaradványok a kutatás során nem kerültek elő belőle. Norinál idősebb ősmaradványokat azonosítottunk ugyanakkor a pilisszántói kőfejtő (I. tábla, 1.) alsó és középső udvarában feltárt sekélytengeri mészke vékonycsiszolataiban: a *Diplopora annulata* alga- és a *Trochammina almtalensis* foraminifera-faj középső-triász kort jelez (HAAS et al. 2010).

A Feketehegyi Mészke cserepes-völgyi szelvényéből (I. tábla, 2.) az *Oberhauserella*-félékhez tartozó, kivételesen jó megtartású plankton foraminifera kerültek elő. Ehhez a csoporthoz — a szakirodalom szerint — a legidősebb ismert plankton foraminifera tartoznak, amelyek példányai eddig csak sokkal rosszabb megtartásban kerültek elő más területekről. A Feketehegyi Mészkeben található átülepített zöldalga-töredékek nori korú flórát jeleznek az egyidős Dachsteini-platformon. A nori-rhaeti határ határ ammonitesz- és conodonta-zónák alapján történő jelenlegi értelmezése szerint (KRYSZYN 2008) a Feketehegyi Mészke valószínűleg átnyúlik a rhaeti emeletbe is (HAAS et al. 2010).

### *Szedimentológia*

A Dachsteini Mészke kifejlődését a Pilis területének túlnyomó részén peritidális és sekély szubtidális rétegtagokból felépülő, ciklusos rétegsor jellemzi. Ezen belül különlegesen fejlett, uralkodóan pizoidos, olykor lemezes, illetve gyökérnyomos kalkrít-szinteket lehetett megfigyelni és mintázni a Klastrompuszta feletti Ajándék-barlang szelvényében, amelyekhez hasonló eddig nem volt ismert a Dachsteini Mészke alpi elterjedési területein sem (II. tábla). A paleotalajok további részletes szedimentológiai és izotópgeokémiai vizsgálata értékes adatokat szolgáltathat a nori paleoklíma rekonstrukciójához is (HAAS et al. in prep.).

A Dachsteini-platform pereméhez közeli lejtőfáciest a Nagy-Strázsa-hegy szelvényében sikerült azonosítani. A Sátorkőpusztai-barlangban, a bejárat közelében feltárt rétegekben a platformlagúnára jellemző *Megalodus*-félék és a Feketehegyi-medencére jellemző kagylók viharok által átülepített kokvinái együtt fordulnak elő. A barlang fölötti

szikla tömeges mészke főleg bekérgező szervezetek törmelékéből és litoklasztokból áll, amely zátonyelőteri fáciesű. Az ebből előkerült áthalmozott *Dasycladacea* töredékek (*Diplopora adnetensis*, *Diplopora decastroi*) nori kort jeleznek.

A Feketehegyi Mészke szelvényeinek részletes szedimentológiai vizsgálata szerint a rétegsort többnyire kagylókokvina viharrétegek, gradált disztális tempesztit- és medencefáciésű rétegek váltakozása építi fel. Az előbbiekre homokméretű bioklasztok, kagyló- és zöldalga-töredékek, valamint bentosz foraminifera (grainstone, packstone), utóbbiakra szivacsstűk és osztrakódák jellemzők (mudstone).

### *Fejlődéstörténeti és ösföldrajzi rekonstrukció*

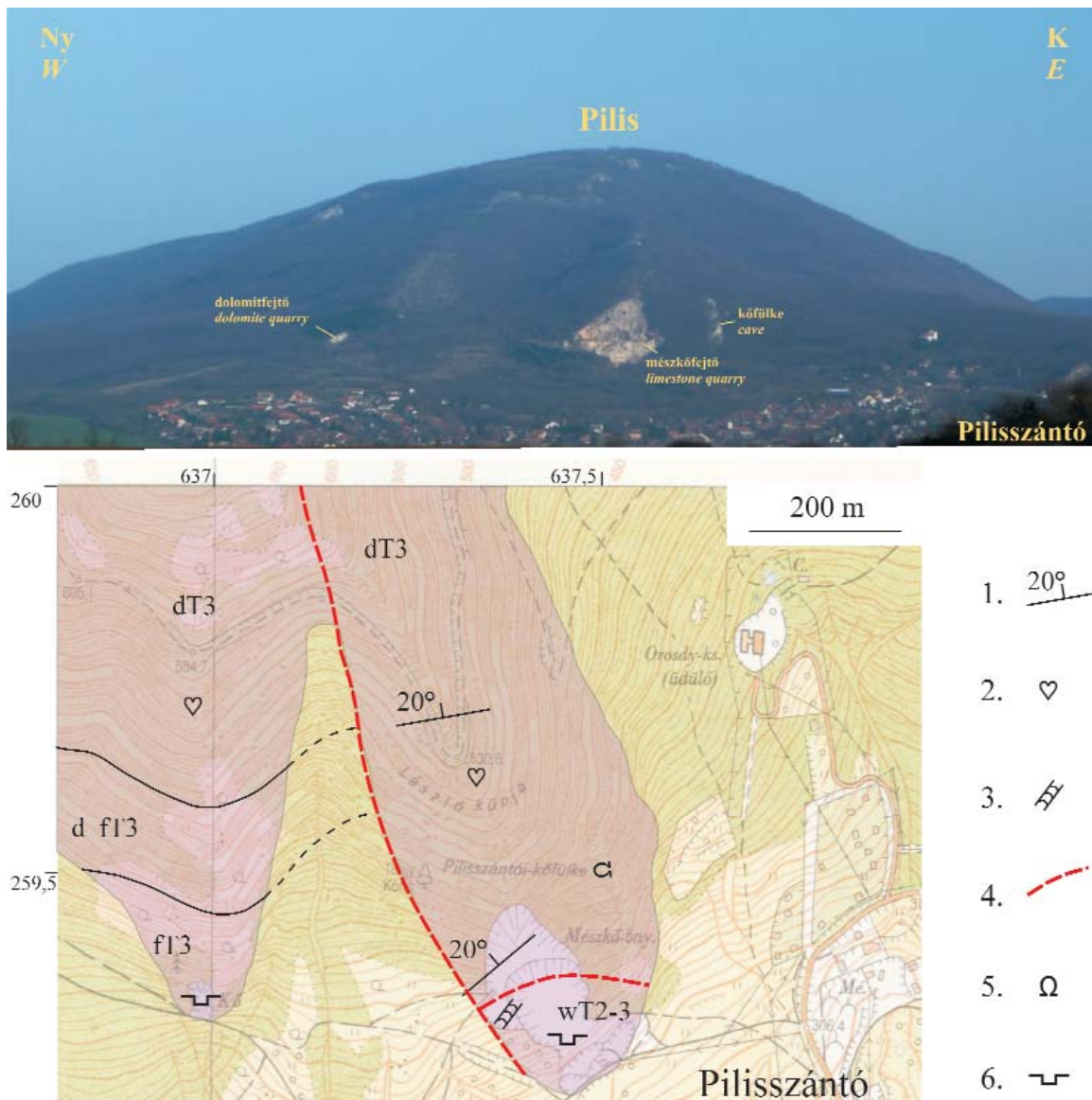
A Pilis Dachsteini Mészke rétegsora a Tethys selfjén kialakult sekélytengeri platform háttérágúnájában képződött a nori során. A nori közepén aktivizálódott extenziós tektonika hatására jött létre a platformon belül a félárok-jellegű Feketehegyi-medence, amelynek lankás oldalán egyenlejtés rámpa jött létre, sekélytengeri kagyló-kolóniákkal (*Pteria*, *Pseudomyoconcha*) és viharüledékekkel (HAAS et al. 2005). A kiemelt helyzetben maradt blokkok peremét (Nagy-Strázsa-hegy) jórészt bekérgező szervezetekből álló foltzátonyok és ooid-homokdombok alkotották. A medence mélyebb régiójában ugyanakkor disztális turbiditék és medenceüledékek rakódtak le. Az ammoniteszek (*Rhabdoceras*) megjelenése a Feketehegyi-medence nyitottabbá válását jelzi a késő-nori legnagyobb elöntés idején, míg a platformlejtő előrenyomulása a nori-rhaeti határon magasvízi rendszer kialakulására utal.

A Pilis platformjának és a Feketehegyi-medencének a rhaeti fejlődéstörténete — megfelelő biosztratigráfiai adatok hiányában — egyelőre homályban maradt. További kutatást igényel tehát, hogy vajon a Dachsteini-platform visszahódította-e a területét a Feketehegyi-medencétől, vagy a medence továbbra is fennmaradt-e a rhaeti (és talán a kora-jura) során, hasonlóan a Csővári-medencéhez.

### *Regionális földtan, tektonika*

A rendelkezésre álló földtani térképek többségén a Pilis-tető vetőkkel határolt, koporsó alakú tömbje kizárólag Dachsteini Mészke, annak ellenére, hogy a részletes felvételezésen alapuló egyetlen nyomtatott térképen FERENCZ (1953) Földolomitot is ábrázolt a hegy D-i nyúlványát alkotó kettős gerinc Ny-i ágának tövénél. Terepbejárásaink során arra a megállapításra jutottunk, hogy a Földolomitba (vagy az átmeneti Fenyőfői Tagozat teljesen dolomitosodott szakaszába) sorolható dolomit fölött — amelynek erősen murvásodott és porlott változatát egy kis kőfejtő is feltárja — dolomit és mészke váltakozásából álló, viszonylag vékony átmeneti rétegsoron keresztül fejlődik ki a típusos Lofér-ciklusos Dachsteini Mészke a Ny-i gerincen (2. ábra).

A K-i gerincen azonban egyáltalán nem jelenik meg dolomit, a pilisszántói nagy mészke kőfejtőben és attól É-ra is kizárólag sekélytengeri kifejlődésű mészke nyomozható.



**2. ábra.** A Pilis-tető panorámaképe (felül) és D-i részének földtani térképe (HAAS et al. 2010 alapján)  
 Jelmagyarázat: 1. rétegdőlés; 2. Megalodus; 3. *Diplopora annulata*; 4. tektonikus képződményhatár; 5. barlang; 6. felhagyott kőfejtő. Földtani képződmények: wT2-3 – „wettersteini típusú” mészkő; fT3 – Földolomit; d\_fT3 – Dachsteini Mészkő, Fenyőfői Tagozat („átmeneti rétegek”); dT3 – Dachsteini Mészkő

**Figure 2.** Panoramic view of the Pilis Hill (above) and geological map of its southern side (after HAAS et al. 2010)

Legend: 1. dipping; 2. megalodontids; 3. *Diplopora annulata*; 4. fault; 5. cave; 6. abandoned quarry. Formations: wT2-3 – „Wetterstein-type” limestone; fT3 – Hauptdolomit; d\_fT3 – Dachstein Limestone, Fenyőfő Mb („transitional unit”); dT3 – Dachstein Limestone

Nyilvánvaló tehát, hogy a két gerincet felépítő, egymástól eltérő felépítésű blokkok tektonikusan érintkeznek egymással.

A pilisszántói nagy mészkőfejtőben végzett részletes szelvényezés és mikrofaciás-vizsgálat során megállapítottuk, hogy az alsó bányaudvarban feltárt sekélytengeri mészkő eltérő jellegeket mutat a nagy középső és a felső bányaudvarban, illetve az afölötti hegyoldalon feltárt tipikus lofer-ciklusos Dachsteini Mészkőtől (HAAS et al. 2010). A benne talált *Diplopora annulata* alfafaj pedig arra utal, hogy lényegesen idősebb is a nori Dachsteini Mészkőnél, és a latin „wettersteini-típusú” platformkarbonátok közé sorolható. A középső-triász kort a foraminiferák is megerősítik.

A pilisszántói középső-triász mészkő kőzetrétegtani besorolását problematikussá teszi az a körülmény, hogy a Dunántúli-középhegységben az ilyen korú platformkarbonátokat a dolomit litológiájú Budaörsi Formáció képviseli. Az eddig rendelkezésre álló adatok ugyanakkor nem teszik lehetővé a Pilis „wettersteini-típusú” platformkarbonátjának korrelációját a környező területek hasonló korú és kifejlődésű képződményeivel. A Pilis–Budai-hegység vonulatától ÉK felé ugyanis a triász platformkarbonátok besorolása — a preneogén medence aljzatát ért fúrásokban, őslénytani adatok és értékelhető faciészvizsgálatok hiányában — igen bizonytalan. Szórványos adatok azonban arra utalnak, hogy középső-triász platformkarbonátok is

előfordulnak a medencealjzat felszínén (HAAS et al. 2010). Ilyen például az Isaszeg–1 fúrásban harántolt mészkő, amelyben középső-anisusi platformkarbonátokra jellemző foraminifera-együttes fordult elő (Bércziné-Makk A. meghatározása).

A „wettersteini-típusú” mészkő igazolása a Pilis-tető D-i tövében jelentős tektonikai következtetésekre vezethet nem csak a Pilis, hanem az egész Dunántúli-középhegység szerkezetének vonatkozásában is. A „wettersteini-típusú” mészkő K–Ny-i csapású tektonikus kontaktusa a Dachsteini Mészkővel területileg kötődik a hegység mezozoos képződményeinek csapásváltozásához. A triász képződmények régóta ismert csapásváltozásával kapcsolatban többféle értelmezés is napvilágot látott (FERENCZY 1925, SZENTES 1934, VÍGH, SZENTES 1952, WEIN 1974, BALLA, DUDKO 1989), akárcsak a K–Ny-i csapású szerkezetek — oldaleltolódások és feltolódások — vonatkozásában (BALLA, DUDKO 1989, FODOR et al. 1993). Jelen összefoglalásunkban nem próbálunk állást foglalni a Budai-

hegység és a Pilis régóta feszegetett nagyszerkezeti kérdésével kapcsolatban (HORUSITZKY 1943, WEIN 1974, BALLA, DUDKO 1989), de reméljük, hogy pilisi kutatásaink hozzájárulhatnak ennek a klasszikus földtani problémának a megoldásához.

## Köszönetnyilvánítás

A jelen cikkben ismertetett új kutatási eredmények a Pilis felső-triász képződményeinek vizsgálata során születtek, az OTKA K-68224 számú projektjének (Budai T.) keretében. A kutatás egyes részei kapcsolódtak az OTKA K-81296 számú projekthez (Haas J.). A kutatás résztvevői köszönettel tartoznak Kövér Szilviának és az Ariadne Karszt- és Barlangkutató Egyesületnek a barlangi szelvények terepi dokumentálásáért, valamint Szeitz Péternek és Görög Ágnesnek a foraminifera-fauna értékeléséért.

## Irodalom — References

- BALOGH K. 1961: A Buda–Pilis-hegység triász képződményeinek problematikája. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, T.939, 83 p.
- BALLA, Z., DUDKO, A. 1989: Large-scale Tertiary strike-slip displacements recorded in the structure of the Transdanubian Range. — *Geophysical Transactions* 35 (1–2), pp. 3–63.
- BUDAI T., GYALOG L. (szerk.) 2009: Magyarország földtani atlasza országjáróknak. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, 248 p.
- FERENCZ K. 1953: A Pilishegy és a tőle D-re eső terület földtani viszonyai. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* 1943, pp. 7–29.
- FERENCZI I. 1925: Adatok a Buda-Kovácsi hegység geológiájához. — *Földtani Közöny* 55, pp. 196–211.
- FODOR L., MAGYARI Á., FOGARASI A., PALOTÁS K. 1994: Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai vonal új értelmezése. — *Földtani Közöny* 124 (2), pp. 129–305.
- HAAS J., BUDAI T., SZENTE I., PIROS O., TARDINÉ FILÁZ E. 2005: Felső-triász lejtő- és medencefaciésű rétegsorok a Pilisben és a Tatabányai medencében (Upper Triassic slope and basin sequences in the Pilis Mts and the Tatabánya Basin). — *Földtani Közöny* 135/4, pp. 513–543.
- HAAS J., BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L., KONRÁD GY. 2010: Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- HAAS, J., BUDAI, T., PIROS, O., SZEITZ, P., GÖRÖG, Á. 2010: Late Triassic platform, slope and basin deposits in the Pilis Mountains, Transdanubian Range, Hungary. — *Central European Geology* 53 (2–3), pp. 233–260.
- HAAS, J., BUDAI, T., RAUCSIK, B. (in prep.): Climatic controls on sedimentary environments in the Triassic of the Transdanubian Range (Western Hungary). — *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- HEGEDŰS Gy. 1951: Adatok a Pilis-hegység földtani ismeretéhez. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* 1945–47/II., pp. 173–190.
- HORUSITZKY F. 1943: A Budai-hegység hegyszerkezetének nagy egységei. — *Beszámoló a Magyar Királyi Földtani Intézet Vitauiléseinek Munkálatairól* 5, pp. 238–251.
- KOCH A. 1871: A Szt.-Endre–Vissegrádi és a Pilis hegység földtani leírása. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* 1 (2), pp. 141–198.
- KRYSTYN, L. 2008: An Ammonoid-calibrated Tethyan conodont time scale of the Late Upper Triassic. — *Berichte der Geologischen Bundesanstalt* 76, pp. 9–11.
- NAGY G. 1964: A Dorogi-medence keleti peremének hegyszerkezeti kérdései. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* 1961, pp. 315–322.
- NAGY G. 1966: Pilisszentlélek. A Dorogi-medence földtani térképe 10 000-es sorozat. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- NAGY G. 1968: Magyarázó a Dorogi-medence földtani térképéhez, 10 000-es sorozat, Pilisszentlélek. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, 42 p.
- NAGY G. 1969a: Kesztlőc. A Dorogi-medence földtani térképe 10 000-es sorozat. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- NAGY G. 1969b: Magyarázó a Dorogi-medence földtani térképéhez, 10 000-es sorozat, Kesztlőc. — A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, 50 p.
- PALOTAI M., CSONTOS L., DÖVÉNYI P. 2006: A kesztlői mezozoos (felső-jura) előfordulás terepi és geoelektromos vizsgálata. — *Földtani Közöny* 136 (3), pp. 347–368.
- SCHAFARZIK F. 1884: Jelentés az 1883. év nyarán a Pilis hegységben eszközölt földtani részletes felvételtől. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése* 1883, pp. 91–114.
- SCHAFARZIK F., VENDL A. 1929: Geológiai kirándulások Budapest környékén. — A Magyar Királyi Földtani Intézet kiadványa, 341 p.
- SEMPTEY F. 1943: A Nagykovácsi és Pilisszentiván közt kiemel-



- kedő Szénás-hegycsoport földtani viszonyai. — *Földtani Szemle* (melléklet), 54 p.
- SZENTES F. 1934: Hegyszerkezeti megfigyelések a budai Nagy-Kevély környékén. — *Földtani Közöny* 64, pp. 283–295.
- VÍGH F., SZENTES F. 1952: A dorogi szénmedence hegyszerkezeti és védőréteg viszonyai különös tekintettel a karsztvízveszély elleni védekezésre. — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 85 (11), 588–600.
- WEIN Gy. 1977: A Budai-hegység tektonikája. — A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, 76 p.

I. tábla — Plate I



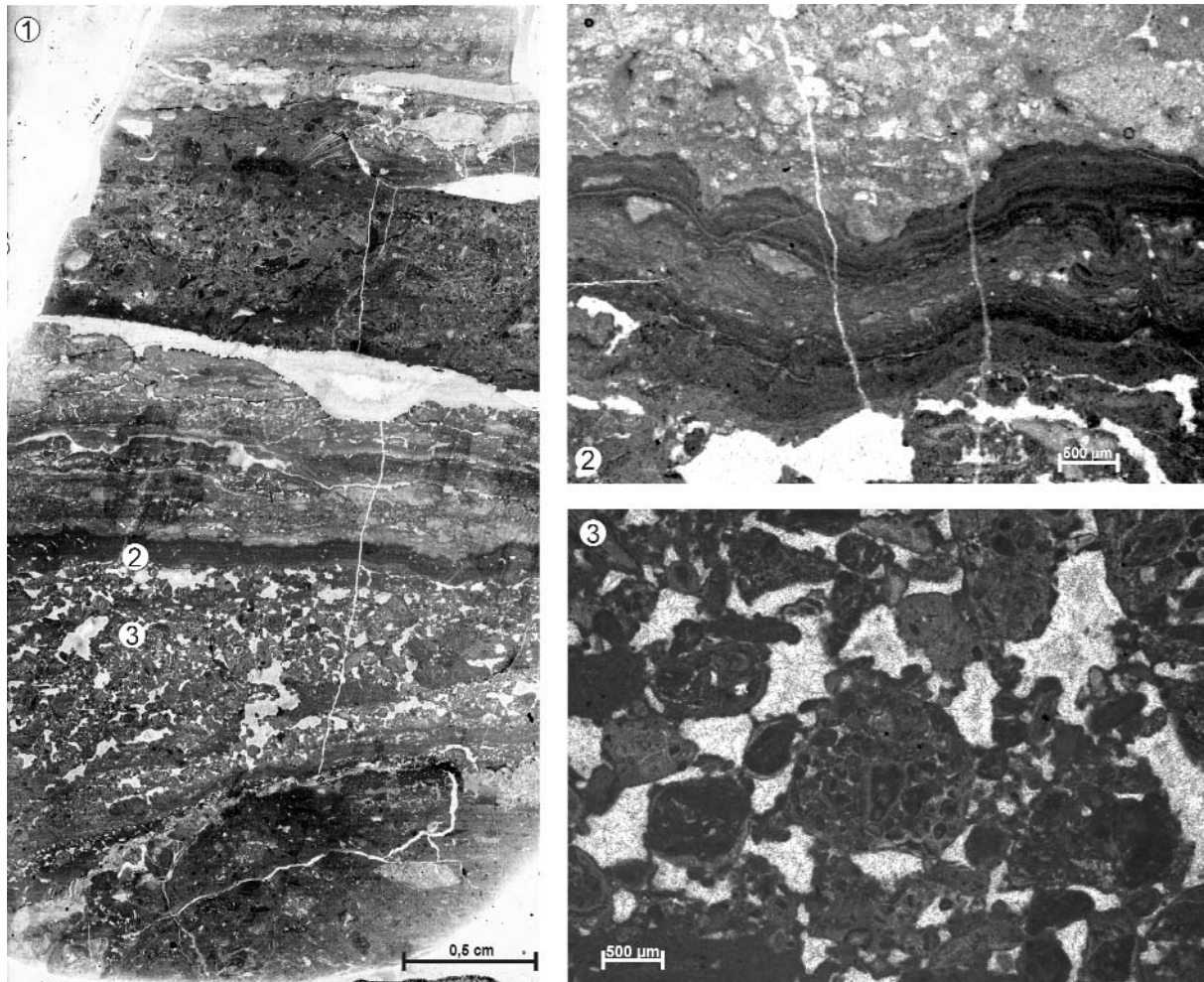
1. A pilisszántói mészkőfejtő középső- és felső udvara (a nyilakkal jelzett felszínek normál vetők)

1. Middle and upper yard of the Pilisszántó Quarry. Arrows point on normal faults

2. A jól rétegzett lemezes Feketehegyi Mész-kő feltárása a Cserepes-völgy északi oldala mentén

2. Outcrop of the well bedded laminated Feketehegy Limestone along the northern side of the Cserepes Valley

## II. tábla — Plate II



1. Az Ajándék-barlangban talált kalkrit-réteg mikroszöveti jellegei. Szkennelt vékonycsiszolat. A 2. és 3. kép helyzetét számok jelölik  
 1. *Microfabric of a segment of a calcite bed encountered in Cave Ajándék. Scanned thin section. Position of photomicrographs 2 and 3 is marked by numbers*

2. Lemezes kalkrit szint („terresztrikus sztromatolit”)

2. *Laminar calcite horizon (“terrestrial stromatolite”)*

3. Kalkrit pedogén szemcseaggregátumokkal (rögök) és feltehetően gyökér eredetű pórusokkal, amelyek izopach rostos páttal borítottak és belsejüket kalcitpát tölti ki

3. *Calcite with pedogenic composite grains (lumps) and probably root-related pores which are lined by isopachous fibrous cement and filled by sparry calcite*

# A budapesti karsztos hévizek potenciál- és nyomásviszonyainak értékelése

## *Evaluation of the potential and pressure field of the thermal karst waters of Budapest*

POYANMEHR, ZAHRA<sup>1,2</sup>, TÓTH GYÖRGY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ELTE, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c; poyan@freemail.hu

<sup>2</sup>Magyar Állami Földtani Intézet, 1143, Budapest, Stefánia út 14.

Tárgyszavak: karszt áramlási rendszer, nyomás különbség, hidegág, melegág, többlet potenciál, depresszió potenciál

### Kivonat

A budapesti karsztos hévizekre az elmúlt évtizedekben számos hidrogeológiai, hidraulikai mérést és értékelést végeztek, azonban jelen munkában mi csak a potenciál eloszlásával és a vízmozgás térbeli jellemzőivel foglalkozunk. A különböző mélységű megcsapoló kutakban mért hőmérsékleti adatokból kiindulva olyan egyszerű táblázatot készítettünk, amely segítségével meghatározható a karsztrendszerben lévő potenciálkülönbség annak meleg-hidegágában és az alapján a vízmozgás iránya. Az így meghatározott többlet (melegág) és a depresszió potenciál (hidegág) -adatok segítségével külön-külön potenciálszint-térkép került megszerkesztésre és értelmezésre.

Key words: karst flow system, pressure, warm side flow, cold side flow, excess potential, potential depression

### Abstract

In this work in spite of so many hydrogeology and hydraulic study in well known Budapest's region we take to consider only the changes of potential levels and direction of flow in the karst system.

The basic data which used to quantify the changes of potential distribution was temperature of wells and springs. Exactly we quantified the excess potential in the warm side and the depression potential in the cold side of the karst system. Finally the quantified levels of potential were used to draw the potentiometric map of cold and hot water separately.

### Előzmények

„A budapesti karsztos hévizek környezeti állapotának hidrogeokémiai értékelése” című kutatási munka (POYANMEHR 2010) keretében, szükséges volt az áramlási rendszer és a vízgeokémiai kép együttes értékelésére. A nagymélységű és magas hőmérsékletű regionális áramlási rendszerek vizsgálatánál nehézséget okoz a lehetséges áramlási pályák meghatározása, megértése és modellezése. Ennek fő oka az, hogy az ilyen típusú rendszerekben a víz sűrűsége a hőmérséklettel nagymértékben változik. Ellenében a hideg vizes regionális áramlási rendszerekkel, ahol a kutakban mért nyugalmi vízszint-adatok térbeli alakulása

közvetlenül alkalmas az áramlási irányok meghatározására, a változó sűrűségű rendszereknél az első lépésben a mért vízszintadatokat korrigálni szükséges a térbeli sűrűség-eloszlás figyelembevételével. A budapesti karsztos hévizek áramlási viszonyainak leírásához is el kellett végezni ezt a korrekciós eljárást, melyet a következőkben ismertetünk.

### Kutatástörténet

A budapesti karsztos hévizek nyomásviszonyaira vonatkozó korábbi hidrogeológiai értékelések száma jelentős, melyek közül azok, amelyekkel a karbonátos tárolóban

lejátszódó mozgásfolyamatokra következtetni lehet a következők: ALFÖLDI et al. (1968), ALFÖLDI (1979, 1981), LORBERER (1984), KOVÁCS, MÜLLER (1980), MÁDLNÉ SZÓNYI (1999). Jelen tanulmányunkban elsősorban a karsztos rendszer vízének sűrűség-, nyomás- és potenciál-eloszlásával, valamint az ennek alapján megadható háromdimenziós vízmozgás geometriai jellemzőivel foglalkozunk. Ezt megelőzően, — és elsőként — a rendszer sűrűség-eloszlásától függő áramlási és nyomásviszonyaival Alföldi, LORBERER (1976) foglalkoztak, így munkánk egyúttal az ő kutatásai folytatásának is tekinthető.

A beszivárgási, utánpótlódási területek alatt a hidraulikus potenciálszintek a mélység felé csökkennek, azokon a területeken, ahol a vízmozgások a felszín felé, felfelé irányulnak, ott ezek az értékek felfelé csökkennek. Az utánpótlódási területek alatt a vizek nyomása a hidrosztatikusnál kisebb, míg a megcsapolási, feláramlási részeken nagyobb. A hidrosztatikus értéktől való eltérésekből határozható meg az áramlás iránya. (TÓTH 1963.)

A térben változó sűrűségű vizeket tartalmazó rendszerekben is ezek a törvényszerűségek a jellemzők, csak ezekben az esetekben különös gondot kell fordítani a hidrosztatikus nyomásállapotok meghatározására.

A hévízes karsztrendszerek esetében pedig az alábbi megfontolásokat kell még figyelembe venni.

A felszínen lévő karsztterületen beszivárgó hideg víz a medenceüledékekkel borított fedett részekhez érve, — elsősorban az ott lévő vízeknél nagyobb sűrűsége miatt, — a relatíve mélyebb helyzetű vízvezető szakaszokon szivárog át (1. ábra). Miután elsősorban a karbonátos kőzetek legfelső részei a legjobb vízvezetők, hiszen a karsztosodás ezt a zónát érintette, ezért feltételezhetően elsősorban a

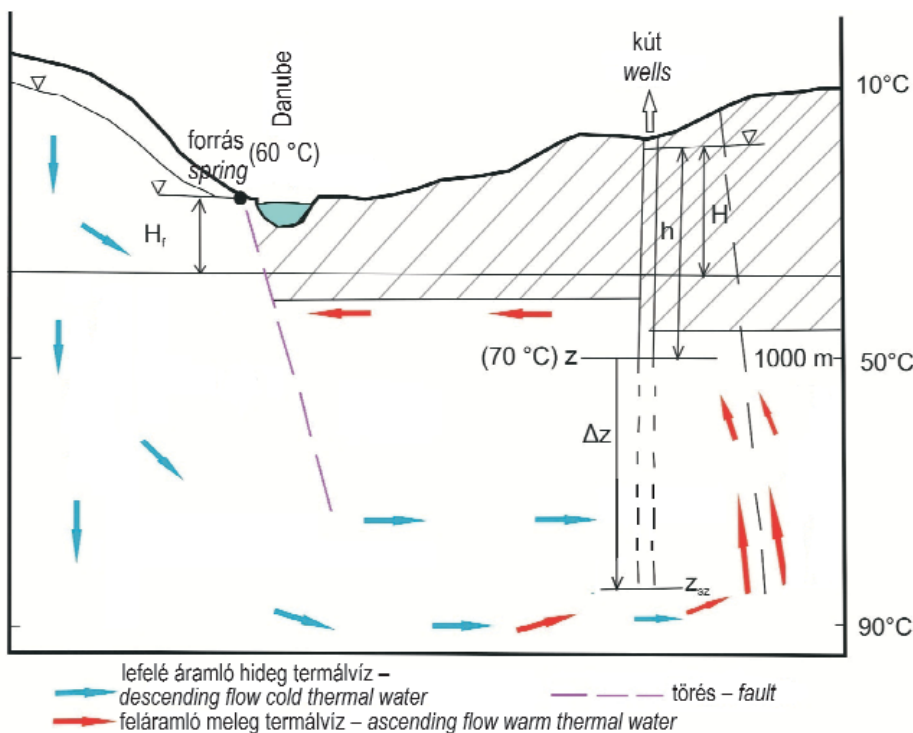
karbonátos alaphegység árkos sülyvedékeinek felső szakaszain húzódik lefelé a környezeténél hidegebb víz. A lefelé mozgó víz a környező kőzetből hőt von el, miközben a víz maga egyre jobban felmelegszik és a sűrűsége ennek megfelelően csökken. Ezt az áramlási pályát „hideg ágnak” nevezzük.

Az árkos sülyvedékek alján lévő karsztos kényszerpályák azon mélypontján, ahol egyúttal egy vertikálisan jó vízvezető szerkezet is található, megvan a lehetőség, hogy a felhajtóerő hatására a szerkezetben egy felfelé irányuló vízmozgás beindulhasson. A vízvezető szerkezetek általában nyitott, esetenként karsztosan kitágított vetőzónák lehetnek, és úgy viselkednek, mint a kémények.

A geotermikus „kémény” alja magához szívja a vizeket, majd felfelé viszonylag nagy sebességgel áramolva, — és ezért csak kismértékben lehűlve, — ér a „kémény”, vagyis a vetőzóna tetejéig, ahol a környezeténél nagyobb nyomással és hőmérséklettel jelentkezik. Ezt követően ez a víz elindul a térszínileg alacsony helyzetű erózióbázisok felé. A budapesti termálkarszt esetében az erózióbázis a hegyek lábánál található, azaz az itteni esetben a medencebeli hőlift-kéményektől visszafelé a hegyek felé irányul az áramlás.

A források felé tartó melegvízes áramlási pályákhoz, a rendszer térbeli jellege miatt, egyre több hidegebb és langyosabb áramlási pálya csatlakozik, majd azokkal kisebb-nagyobb mértékben keveredve lép a felszínre.

Az előzőekben vázlatosan bemutatott áramlási rendszerben tehát, nem csak a felszíni karszt kibúvások alatt kialakuló karsztvízszintek és a megcsapoló termálforrások között jelentkező geodéziai magasságkülönbség okozza a hajtóerőt, hanem a két eltérő hőmérsékletű víztömeg között jelentkező vízsűrűség-különbség, — vagyis a „hőlift”, —



is. Az ilyen típusú áramlást a szakirodalomban „forced convection”-nek, a magyar nyelvű szakirodalomban „gravitációsan vezérelt hőkonvekciós rendszer”-nek nevezik. A vizet mozgató erőknél tehát a gravitáció mellett jelentős szerepet kap a felhajtóerő, („buoyancy”) is.

A medence mélyebb részein található hőliftek térségéből a források irányába haladó áramlási pályát „meleg-ág”-nak nevezzük. Természetesen a rendszer együttesen tartalmazza a hideg- és meleg-ágakat, és ahol egymáshoz közeliek, ott kapcsolódásuk és vizeik keveredése is előfordulhat. Mégis a két rendszert a nyomás-, és potenciálviszonyok vizsgálatánál mesterségesen célszerű szétválasztani, melynek indoklását a következő részekben adjuk meg.

## Módszerek

A munkánkban alapadatként 31 budapesti kútnál mért hőmérsékleti adatot használtunk fel, amelyeket a kutakban

és azok kifolyó vizében végzett mérésekkel állapítottak meg. (1. táblázat).

Az egész folyamat egyszerű megértéséhez azt feltételeztük, hogy minden kúthoz egy forrás kapcsolódik és a két vizsgált pont között (forrás és kút) egyetlen függőleges áramlási pálya létezik. A vizsgált pontokban számolt mélységi nyomásértékkel, amely a hőmérséklettől és a víz sűrűségétől függ, lehet a vertikális piezometrikus gradienst mind a hideg mind a melegágnál számolni, illetve az áramlás irányát meghatározni. Az így számolt piezometrikus gradiens magába foglalja a távolabbra eső területekről származó hőlift hatását is.

Korábban kémiai paraméterek és hőmérséklet alapján kialakított kútcsoportokhoz tapasztalati hőmérséklet értéket rendeltem a források kifolyási szintjére, — a 104,5 mBf — vonatkoztatva. Északi langyos karszt forrása: 22 °C, déli meleg karszt forrása: 45 °C, kevert Lukács csoport forrása: 42 °C és Széchenyi mély meleg csoport forrása: 62 °C.

### 1. táblázat. A kutak és a források számított és mért hőmérsékletei

Table 1. The measured and calculated temperatures of the wells and springs

Kút neve Well name	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>z</sub> (°C)	Hűlési gradiens Cooling gradient (°C/km)	Hűlési gradiens a kút talpán Cooling gradient at bottom of well (°C)	Számolt T Calculated T (°C)
Széchenyi II,	74,3	77	2,79	3,5	77,8
Szentendre, Papsziget	35	65	5,00	7,5	42,5
Széchenyi I,	74	81	2,79	2,6	76,6
Margitsziget II, (Magda kút)	71	71	5,00	1,6	72,6
Paskál	70	75,2	2,29	4,0	74,0
Göd strand	52	59	4,39	3,1	55,1
Csepel II,	45	48	25,64	28,9	73,9
Csepel I,	45	47	6,44	7,3	52,3
Pesterzsébet mély	46	46,5	25,64	17,0	63,0
Vác strand	30	42	4,67	5,1	35,1
VITUKI	48	53	25,64	14,3	62,4
Szent Imre Kórház	49	51,8	2,79	1,4	50,5
Dagály, Béke kút	42	42	1,55	0,2	42,2
Visegrád, Lepence	38	42	3,17	4,1	42,1
Margit-sziget IV,	38	37,8	5,00	0,5	38,5
Rácz, Tabán I,	46	48,7	15,68	2,7	48,7
Flektromos sporttelep II,	45	46	2,79	0,8	45,8
Dandár, új kút DS-1,	46	46	2,79	1,0	47,0
Rudas, Attila II	47	47	2,79	0,1	47,1
Lukács Király-kút	50	50	5,00	0,1	50,1
Apenta hévízkút	62	65,8	2,69	2,7	64,7
Gellért, GT II,	44	44	2,79	0,0	44,0
Rudas, Hungária II	43	43	2,79	0,1	43,1
Gellért, GT III,(te	43	43	2,79	0,0	43,0
Leányfalu, strand	56	59,6	5,00	3,6	59,6
Törökbálint, Depo-2	33	38,8	5,19	3,3	36,3
Berkenye, KFII kutatófúrás	31	38	28,78	13,9	44,9
Tungsram	24	31	3,58	2,2	26,2
Közraktár megfigyelő kút	44	51	2,79	1,8	45,8
Pünkösdlüddő	25	28	5,09	2,8	27,8
Csillaghegy déli kút	22	23,5	3,06	1,5	23,5

Tk: a kútból kifolyó víz hőmérséklete; Tz: a z mélységben mért hőmérséklet; Hűlési gradiens: a vízhozam adatból számolt lehűlési érték / km, Hűlési gradiens a kút talpán: számolt hűlési gradiens a kút talpán; Számolt T: hőmérséklet a kút talpán, ami a kifolyó víz hőmérsékletének és a kút talpán számolt lehűlési értéknek az összege. — T<sub>1</sub>: outflow water temperature; T<sub>z</sub>: measured temperature at depth z; Cooling gradient: the calculated temperature from the yield, Cooling gradient at bottom of well: The calculated cooling gradient at the bottom of the well; Calculated T: Temperature at the bottom of the well which is the sum of the outflow temperature and the cooling gradient at bottom of well

### Mért mélységi hőmérsékleti adatok ellenőrzése

A kutakban mért mélységi hőmérsékletek ellenőrzésére a LIEBE (1976) által megállapított a kútbeli lehülés és a vízhozam közötti összefüggést alkalmaztuk. A kútbeli lehülés és a vízhozam közötti összefüggés:

$$ggh = 5 * Q^{-0,71} \quad (1)$$

ahol ggh a lehülés gradiens °C/ km, Q a vízhozam m<sup>3</sup>/perc.

A kútban mért és számolt hőmérséklet közötti maximum 7 °C eltérést elfogadhatónak tartottuk. A következő kutaknál: Szentendre Papsziget, Csepel II, Pesterzsébet mély és a Vituki (23, 26, 17 és 9 °C) nagyobb eltérés van a két érték között, Ezekre az esetekre a mért talphőmérséklet helyességét a 10 év medián adatai (40; 45, 42,3; 45,2 °C) alátámasztják, így a további számításokhoz ezeknél a kutaknál a medián adatot használtuk.

A tanulmányozott területen tapasztalt átlagos geotermikus gradiens (gg) 40 °C/1000 m. A várható hőmérséklet a z mélységében a következő egyenlet alapján számolható:

$$T = 10 + z * gg, \quad (2)$$

ahol gg az átlagos geotermikus gradiens (°C/1000 m), z a mérési mélység a kútban (m), 10 °C az évi átlagos középhőmérséklet a felszínen (lásd 2. táblázat. C oszlop).

Látható, hogy a kutak egy részében, a z mélységben a mért hőfok sokkal magasabb, mint a fenti képlet alapján számolt hőmérséklet (1. 2. táblázat. D oszlop), Ebből következik, hogy ezeknél a kutaknál a melegebb víz mélyebbről áramlik a megcsapolási pontjaink felé („meleg ág”). A „származási mélységet” a következő módszerrel becsültük. Feltételezésünk szerint az átlagosnál magasabb hőmérsékletű vizek törések mentén felszálló vizek körzetében található, és ezekben a víz hűlése, hasonlóan a kútbeli lehülésekhez alapvetően a víz sebességétől, (hozamától) függ. A hűlési gradiens valószínűleg nagyobb, mint a kutakban tapasztalt átlag és mindenképpen kisebb, mint az átlagos geotermikus gradiens. A számításoknál esetünkben a 10 °C/1000 m értéket használtuk. Ennek segítségével a talphőmérsékletből kiszámítottuk azt a mélységet, ahol már az átlagos gg-nek megfelelő hőmérséklet található, és ezt neveztük származási mélységnek. A származási mélységet különböző átlagos geotermikus és törésekbeni hűlési gradiensek felvételével lehet becsülni. A legjobban illeszkedő értékek ellenőrzésére ebben a fázisban csak a mélységi karsztfelületek álltak rendelkezésre: a származási mélységnek a vizsgált kút körzetébe és a mélységi karsztfelület közelébe kell esnie.

A z mélységben a leáramló szálban a 10 °C/1000 m gg-értéknél a mért és számolt hőmérséklet különbsége:

$$\Delta T = T_z - (0,01 * z + 10) \quad (3)$$

vagyis,

$$\Delta T = T_{\text{meleg}} - T_{\text{hideg}} \quad (3a)$$

$$T_z - (0,01 * z + 10) = T_{\text{meleg}} - T_{\text{hideg}} \quad (3b)$$

ahol  $\Delta T$  a mért és számolt hőmérséklet közötti különbség,  $T_{\text{meleg}}$  a származási mélységben a (gg = 40) értékkel számolt hőfok, a  $T_{\text{hideg}}$  a származási mélységben a (gg = 10) értékkel számolt hőfok, z a kút talpmélysége,  $T_z$  a z mélységben mért hőfok.

A származási mélység a (3.b) egyenlet alapján számolható:

$$Z_{sz} = (T_z - 0,01 * z - 10) / 0,03 \quad (3b/1)$$

ahol  $Z_{sz}$  a hidegág származási mélysége (1. 2. táblázat. E oszlop) és  $T_z$  a z mélységben mért hőmérséklet. Tehát a  $Z_{sz}$ -ben számolható melegág hőfoka:

$$T_{sz} = 10 + Z_{sz} * 0,04 \quad (2a)$$

ahol 0,04 az 1 méterre számolt geotermikus gradiens (40 °C/1000 m esetén),  $T_{sz}$  a származási mélységben számolt hőfok, (lásd 2. táblázat. F oszlop)

A karsztvizeknek általában jelentéktelen a gáztartalma, kicsi az oldott anyagtartalma, így elegendő a hőmérséklet és nyomás szerinti sűrűség-korrekciónak számolni (ALFÖDI, LORBERER 1976).

A következő lépésben minden megcsapolási pontra, a kút z mélységére, a hozzátartozó forrásra (0 m) és a  $Z_{sz}$  a származási mélységre kiszámítottuk a víz sűrűségét a következő egyenlet alapján (JUHÁSZ 1976), (1. 2. táblázat. G, J és H oszlopok)

$$\gamma = 1 - 4,5 * 10^{-6} * T^2 + 5 * 10^{-7} * z \quad (4)$$

ahol  $\gamma$  a vízsűrűség, T a hőmérséklet és z a megcsapolási mélység.

A megcsapolási pontokon számolt hőfok és vízsűrűség után a nyomásadatok meghatározása lenne a következő lépés.

A hévízkút nyomásadatainak térbeli eloszlásának vizsgálatára minden mélységre (talpmélység, forrás szint, származási mélység) az alábbi egyenlet alapján számoltuk a nyomásértéket:

$$P = \Delta z * \gamma_a \quad (5)$$

ahol  $\Delta z$  a megcsapolási pontok szintkülönbsége,  $\gamma_a$  a megcsapolási pontokhoz tartozó h vízoszlop átlagos sűrűsége. A melegágnál a  $\Delta z$  a

$$\Delta z = z + H_f - H \quad (6a)$$

képlettel számolható, ahol z a kút mélysége és a  $H_f$  a forrásszintje és a H a geotermikus állapotban hűlt vízszint, A  $\gamma_a$  a kút és a forrás közötti víz-„oszlop”-ban a vízsűrűség átlaga.

2. táblázat. A kutak mért és számított adatai  
Table 2. Measured and calculated data in wells

A kút neve Well's name	Z (m)	T <sub>c</sub> számított calculated	T <sub>m</sub> mért measured	z <sub>w</sub>	T <sub>z</sub>	γ <sub>e</sub>	γ <sub>sz</sub>	T <sub>r</sub>	γ <sub>r</sub>	Forrás Spring (m asl)	H (m asl)	P <sub>k</sub>	P Feltáramlás (mteleg) ascending flow, warm side	Potenciál- fóbblet Excess potential (m asl)	P <sub>sz</sub>	P Visszáramlás (hideg) descendin flow, cold side	Potenciál- depresszió Potential depression (m asl)	A meleg potential of warm side (m asl)	A hideg potential of cold side (m asl)
Széchényi, II	1246,1	59,8	77	1817,97	82,72	0,9739	0,9701	62	0,9827	104,5	109,2	1229,9	1214,5	15,4	1785,7	1786,2	-0,5	119,9	104,0
Pápsziget	1490	69,6	40	503,33	30,13	0,9935	0,9962	22	0,9978	104,5	113,6	1485,2	1474,5	10,7	503,6	493,2	10,4	115,2	114,9
Széchényi I.	916,5	46,7	81	2061,17	92,45	0,9709	0,9626	62	0,9827	104,5	108,4	903,2	891,4	11,8	2009,8	2018,7	-8,9	116,3	95,6
Margitsziget II	310,7	22,4	71	1929,77	87,19	0,9775	0,9668	62	0,9827	104,5	110,7	307,2	298,4	8,8	1881,1	1891,6	-10,5	113,3	94,0
Paskál	1735	79,4	75,2	1595,00	73,80	0,9754	0,9763	62	0,9827	104,5	101,1	1713,7	1702,0	11,7	1577,1	1579,4	-2,4	116,2	102,1
Göd, Strand	695	37,8	59	1401,67	66,07	0,9847	0,9811	22	0,9978	104,5	112,0	689,7	681,5	8,2	1384,2	1381,0	3,3	112,7	107,8
Csepel2	1126	55,0	45	791,33	41,65	0,9915	0,9926	45	0,9909	104,5	99,9	1121,2	1120,6	0,6	789,2	793,0	-3,8	105,1	100,7
Csepel1	1129	55,2	47	857,00	44,28	0,9906	0,9916	45	0,9909	104,5	96,8	1123,7	1126,2	-2,5	854,1	861,1	-7,0	102,0	97,5
Pesterzsébet	664,5	36,6	42,3	855,17	44,21	0,9923	0,9916	45	0,9909	104,5	101,6	661,9	661,8	0,1	851,1	854,5	-3,4	104,6	101,1
Vas, Strand	1101	54,0	42	699,67	37,99	0,9926	0,9939	22	0,9978	104,5	114,0	1096,9	1086,2	10,7	698,3	688,0	10,3	115,2	114,8
Vihuti	559,5	32,4	45,2	986,83	49,47	0,9911	0,9895	45	0,9909	104,5	103,2	557,0	555,8	1,2	980,2	983,0	-2,8	105,7	101,7
Tétényi	518,4	30,7	51,8	1220,53	58,82	0,9882	0,9850	45	0,9909	104,5	104,5	515,3	513,0	2,4	1208,1	1211,4	-3,3	106,9	101,2
Dugály	125,9	15,0	42	1024,70	50,99	0,9921	0,9888	62	0,9827	104,5	104,1	125,4	124,7	0,7	1015,6	1019,4	-3,7	105,2	100,8
Lepence	1301,7	62,1	42	632,77	35,31	0,9927	0,9947	22	0,9978	104,5	114,8	1297,0	1285,3	11,6	632,2	620,9	11,4	116,1	115,9
Margitsziget IV	105,9	14,2	37,8	891,37	45,65	0,9936	0,9911	62	0,9827	104,5	105,3	105,6	103,8	1,8	885,0	886,5	-1,5	106,3	103,0
Róz	174	17,0	48,7	1232,00	59,28	0,9894	0,9848	42	0,9921	104,5	105,5	173,1	171,4	1,6	1217,4	1221,7	-4,2	106,1	100,3
Elektronos sporttelep II	271,5	20,9	46	1109,50	54,38	0,9906	0,9872	62	0,9827	104,5	105,7	270,2	266,7	3,5	1098,9	1101,2	-2,3	108,0	102,2
Dandár	372,5	24,9	46	1075,83	53,03	0,9907	0,9879	45	0,9909	104,5	103,2	370,8	370,3	0,5	1066,5	1070,6	-4,0	105,0	100,5
Rudas-Attila II	225,5	10,9	47	1225,83	59,03	0,9901	0,9849	42	0,9921	104,5	105,7	22,4	21,1	1,3	1210,7	1215,4	-4,7	105,8	99,8
Lukács-Király	10,9	10,4	50	1329,70	63,19	0,9888	0,9827	42	0,9921	104,5	104,4	10,8	10,9	0,0	1310,8	1318,3	-7,5	104,5	97,0
Apentia	997	49,9	65,8	1527,67	71,11	0,9810	0,9780	45	0,9909	104,5	105,0	987,5	982,5	5,0	1507,3	1510,4	-3,0	109,5	101,5
Gellérhegy-GT II	2,8	10,1	44	1132,40	55,30	0,9913	0,9868	45	0,9909	104,5	104,0	2,8	3,2	-0,5	1120,0	1125,4	-5,4	104,0	99,1
Rudas Hungária II	24	11,0	43	1092,00	53,68	0,9917	0,9876	45	0,9909	104,5	104,3	23,9	24,0	-0,1	1080,8	1085,4	-4,6	104,4	99,9
Gellér-GT III	6,3	10,3	43	1097,90	53,92	0,9917	0,9875	45	0,9909	104,5	100,7	6,3	10,0	-3,8	1086,5	1094,8	-8,3	100,7	96,2
Leányfalu	71,5	38,6	59,6	1415,00	66,60	0,9844	0,9807	22	0,9978	104,5	119,0	709,4	694,3	15,1	1397,2	1387,0	10,2	119,6	114,7
Depe-2	632,5	35,3	38,8	749,17	39,97	0,9935	0,9932	45	0,9909	104,5	110,8	630,5	621,3	9,1	746,4	740,3	6,0	113,6	110,5
Berkénye	482	29,3	38	772,67	40,91	0,9937	0,9929	22	0,9978	104,5	116,8	480,5	467,7	12,8	769,2	757,6	11,6	117,3	116,1
Junggram	618	34,7	31	494,00	29,76	0,9960	0,9963	22	0,9978	104,5	104,3	616,8	616,3	0,4	493,2	493,3	-0,1	104,9	104,4
Közraktár	630	36,0	51	1150,00	56,00	0,9886	0,9865	45	0,9909	104,5	102,7	646,3	645,2	1,1	1140,1	1144,1	-4,0	105,6	100,5
Pinkósfürdő	556	32,2	28	414,67	26,59	0,9968	0,9970	22	0,9978	104,5	106,0	555,1	553,0	2,1	414,2	412,5	1,7	106,6	106,2
Csillag D	500	30,0	23,5	283,33	21,33	0,9978	0,9981	22	0,9978	104,5	106,0	499,4	497,4	2,0	283,2	281,6	1,6	106,5	106,1

z: a kút talpa, T<sub>r</sub>: hőmérséklet a kút talpán, z<sub>w</sub>: a hideg termálvíz származási mélysége, T<sub>z</sub>: a z<sub>w</sub> számított hőmérséklete, Az: a víz sűrűsége a hideg termálvíz származási helyén, T<sub>r</sub>: a forrás hőmérséklete, temperature of spring, Af: a forrás vízének sűrűsége, H: a kút nyomomassága, P<sub>z</sub>: nyomás a kút talpán P<sub>sz</sub>: nyomás a hideg termálvíz származási helyén.  
z: bottom of well, T<sub>r</sub>: Temperature at the bottom of well, z<sub>w</sub>: Depth of provenance of cold thermal water, T<sub>z</sub>: Calculated T at depth of z, Az: density of water at z, Az<sub>w</sub>: density of water at z<sub>w</sub>, T<sub>r</sub>: temperature of spring, Af: water density of spring, H: hydraulic head of well, P<sub>z</sub>: pressure in z, P<sub>sz</sub>: pressure in z<sub>w</sub>



A hidegágnál a  $\Delta z$ :

$$\Delta z = z_{sz} + H_f - A, \quad (6b)$$

ahol  $z_{sz}$  a számolt hidegvíz származási mélysége,  $H_f$  a forrásszintje,  $A$  a terep szintje (mBf),  $\gamma_a$  a 1 (nyomás felszínen) és  $z_{sz}$  mélységben számolt vízsűrűség átlaga.

A származási mélységnél a nyomás:

$$P_{sz} = P_{kút} + \Delta P, \quad (7)$$

vagyis

$$P = P_{kút} + (z_{sz} - z) * (\gamma_z + \gamma_{sz}), \quad (7a)$$

ahol  $z_{sz}$  a számolt hidegvíz származási mélysége,  $z$  a kút mélysége, a  $\gamma_z$  a kút és a  $\gamma_{sz}$  a származási mélységnél számolt vízsűrűség.

Minden megcsapolási pontban az (5) egyenlet alapján számolt nyomás érték a 2. táblázat. M, N, P, illetve Q oszlopában van megjelenítve.

A vízáramlás által okozott hőkonvekciónak a felszálló ága a hidegebb területre érve többletpotenciállal, a leszálló ág alján pedig potenciál-depresszióval jelentkezik, aminek mértéke a víz sebességétől függ. Így, miután minden egyes megcsapolási pontra meghatároztuk  $z_{sz}$  (mBf),  $\gamma$  ( $g/cm^3$ ) és  $p$  (atm) értékeit, számolhattuk a hozzájuk tartozó többlet-

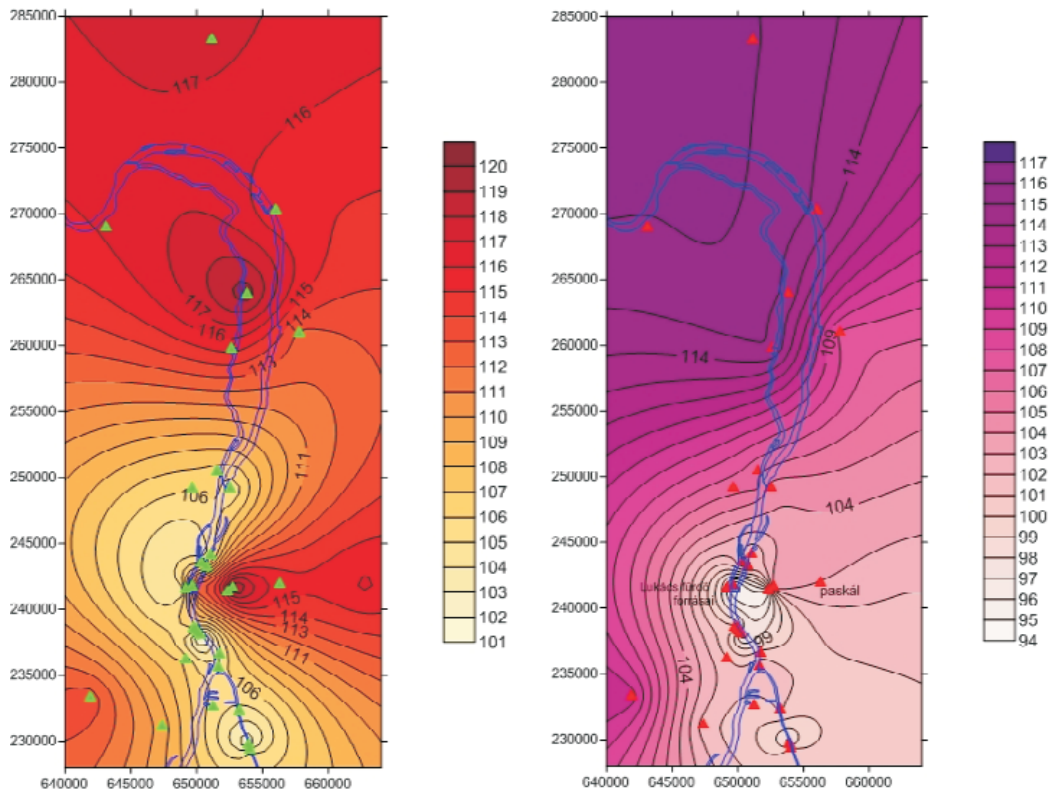
potenciált a melegágban és a potenciál-depressziót a hidegágban:

Potenciálszint<sub>melegágban</sub> = forrásvízszint + többletpotenciál

Potenciálszint<sub>hidegágban</sub> = forrásvízszint + potenciál-depresszió.

Az eredményt a 2. táblázat. O és T oszlopában jelenítettük meg. A potenciálszint számítás után módunkban áll a potenciálszint térképet szerkeszteni (2. ábra.). Ahogy az ábrák szemléltetik, a hidegágban a beszivárgó víz egyrészt északról dél felé (vagyis Esztergom környékről a Rózsadomb környéki források irányába) áramlik, másrészt nyugatról Budapest déli forrásai irányába.

A melegágban pedig, a termálvíz három irányból, vagyis külön formációkból vagy tektonikai zónákból áramlik fel a források felé. Egyrészt a medence aljából feláramló nagyon meleg karsztvíz a Széchenyi kúttól a Margitsziget II. kút térségén keresztül a Lukács fürdő forrásai irányába áramlik. Másrészt a nyugat felől áramló karsztvíz Budapest déli forrásainak termálvizét biztosítja. A harmadik rész északról délfelé a Rózsadomb környékén fakadó források felé áramlik.



2. ábra. Melegág, többletpotenciál (mBf) (balra) és hidegág, potenciál-depresszió (mBf) (jobbra)

Figure 2. Warm flow arm, potential excess (m asl) at left and cold flow arm, potential depression (m asl) at right

## Diszkusszió és következtetések

A munkánkban megpróbáltuk a kút és a források adataiból kiindulva a nyomasanomáliákat meghatározni és végül a potenciáltérképet megszerkeszteni, vagyis az áramlási viszonyokat meghatározni.

A mért hőmérsékleti adatok ellenőrzésére a LIEBE1976 által megállapított a kútbeli lehűlés és a vízhozam közötti összefüggés került alkalmazásra.

Ahhoz, hogy a különböző hőmérsékletű megcsapolási pontok között a tényleges áramlási viszonyokat meghatározzuk minden kúthoz egy-egy megcsapolási helyet, forrást feltételeztünk. A forrásokat hőmérsékletük alapján csoportosítottuk (Északi langyos karszt: 22 °C, Déli meleg karszt: 45 °C, kevert Lukács csoport: 42 °C és Széchenyi mély meleg csoport: 62 °C). A források vízszintjét az átlagos Duna vízszint fölötti, a 104,5 mBf értékben adtuk meg.

A munkában azt az egyszerűsítést választottuk, hogy két vizsgált pont között egyetlen áramlási pálya létezik.

Ennek a pályának vertikális piezometrikus gradiensét a két pont között észlelt nyomáskülönbség (atm), a  $\Delta z$  megcsapolási pontok szintkülönbsége (m) és a  $\gamma$ , a tényleges hőmérséklethez tartozó vízsűrűség értéke ( $\text{g/cm}^3$ ) alapján lehet kiszámítani. Ez a számított érték egyúttal a „hőlift” hatásait is magában foglalja.

A tanulmányozott terület egy részén a mélységben ténylegesen mért hőfok sokkal magasabb, mint ami a tapasztalt átlagos 40 °C/1000 m geotermikus gradiensből számítható. Ez azt jelenti, hogy a melegebb víz valahonnan nagyobb mélységből származhat, melyet „származási mélység”-nek neveztünk, és értékét számítottuk.

Ezután minden megcsapolási pontban a hőmérséklettől és a nyomástól függő vízsűrűséget számítottuk. A sűrűség adatok és a hévízkutak nyomásadatainak figyelembevételével határoztuk meg a melegágak többletpotenciáljait és a hidegágak potenciál-depresszióit. Mind a melegágra és a hidegágra külön-külön potenciálszint-térkép került megszerkesztésre.

## Irodalom — References

- ALFÖLDI L., LORBERER Á. 1976: A karsztos hévizek három dimenziós áramlásának vizsgálata kútadatok alapján. — *Hidrológiai Közlöny* 56 (10), 433–443.
- ALFÖLDI L. 1979: Budapesti hévizek. — Thermal water of Budapest. — *Vituki Közlemények* 20, 3–102.
- ALFÖLDI L. 1981: A budapesti geotermikus áramlási rendszer modellje. — *Hidrológiai Közlöny* 1981 (9), 7 p.
- JUHÁSZ J. 1976: *Hidrogeológia*. — Akadémiai Kiadó, Budapest, 972 p.
- KOVÁCS J. & MÜLLER P. 1980: A Budai-hegység hévizes tevékenységének kialakulása és nyomai. — *Karszt és Barlang* II, 93–98.
- LIEBE P. 1976: A kifolyóvíz- és talphőmérsékletek kapcsolatának vizsgálata. — *Kézirat*, Vituki III. Főosztályi belső jelentés.
- LIEBE P., LORBERER Á. 1978: A karsztos hévíztárolók áramlási és hőmérsékleti viszonyainak vizsgálata. — *Vituki Közlemények* 3, 162–175.
- MÁDLNÉ SZÓNYI J. 1999: A Rózsadombi archív anyagok értékelése. — In: MINDSZENTY A., MÁDLNÉ SZÓNYI J., KOVÁCS J.: A Rózsadombi termálkarszt monitoring működtetése. Az értékelési szempontok: A karsztok védelmének alapja, működési mechanizmusuk megértése. ELTE Alkalmazott-, és Környezetföldtani Tanszék.
- POYANMEHR Z. 2010: Environmental (Quantitative and Hydrogeochemical) Status Assessment of the Budapest Coldthermal Karst System. — Ismar 7 conference abstract, Abu Dhabi.
- TÓTH J. 1963: A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. — *Journal of Geophysical Research* 68, 4795–4812.

# A „hengeralakú kőzetminták”-tól az Országos Magminta Gyűjteményig és tovább

A Magyar Állami Földtani Intézet fúrási magmintagyűjteményének kutatástörténeti jelentősége

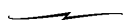
*From “cylindrical rock samples” to a National Core Collection and looking ahead*  
*History of the drilling core collection of Geological Institute of Hungary and its importance*

KERCSMÁR ZSOLT

Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest Stefánia út 14., e-mail: kericsmar@mafi.hu

SEMSEY Andor emlékére

Mottó: „A nehéz gazdasági viszonyok közt rendületlen hitünk van az ország jövője és fölvirágzása iránt. Adja Isten, hogy ezen virágzásnak, és ezen emelkedésnek ez Intézet mindenkor egyik tényezője legyen.” (részlet DARÁNYI Ignác m. kir. földművelésügyi miniszter beszédéből, 1900. május 7-én, az intézet Stefánia úti palotájának megnyitóján)



Tárgyszavak: fúrási magmintaraktár, fúrási magmintagyűjtemény, kutatás- és tudománytörténet, Magyar Állami Földtani Intézet, Országos Magminta Gyűjtemény, földtani kutatás, földtani érték, földtani adat

## Kivonat

A Magyar Állami Földtani Intézet fúrási magmintáinak gyűjteménye felbecsülhetetlen értéket képvisel mind gazdasági, mind tudományos téren. A jelenleg 450 km összhosszúságú fúrási magminták mindenkori helyzete és állapota mindig az intézetet érintő történelmi és gazdasági eseményektől, és az ezekre adott tudománypolitikai és intézeti stratégiai válaszoktól függött. A háborús évekhez hasonló mértékű finanszírozási hiány miatt a gyűjtemény jelenleg a megsemmisülés széléhez közeledik, amelynek bekövetkezte felmérhetetlen és sok esetben pótolhatatlan veszteséget okozna az intézetnek és egyben a hazai földtan tudományának. Az elméleti és alkalmazott kutatásokhoz azonos súllyal kapcsolódó Országos Magminta Gyűjtemény állapotának megóvása és a raktárbázis európai szintű kutatóhellyé fejlesztése a jelen döntéshozóinak felelősége és egyben lehetősége is. Jelen tanulmány arra mutat rá, hogy a 142 év során azok a megoldások javították az intézet tudományos és gazdasági állapotát, és egyben az ezt „indikátorként” jelző magmintagyűjtemény helyzetét, amelyek felismerték a múltbeli eredményeken nyugvó jelenkori tudományos kutatás értékét.

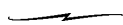
Keywords: core collection storage, drilling core collection, geological data, Geological Institute of Hungary, geological research, history of research, history of science, National Core Collection

## Abstract

The drilling core collection of the Geological Institute of Hungary represents an invaluable record both from a scientific and an economic point of view. The prevailing position and status of the drilling cores – representing at present a total length of 450km – has been depended on historical and economic events affecting the Institute and on the science-political responses given to them as well as strategic reactions of the Institute.

Due to the financial gap – which is similar to that of the war years –, for the moment, the collection slides toward destruction, which would cause inestimable and - in many respects - irreplaceable loss to the Institute and the Hungarian geological science.

The preservation of the state of the National Drilling Core Collection, which is equally related to both the theoretical and applied research, and the development of the central repository to a European-level research centre are the responsibility and opportunity of today's decision-makers. This study points out that over the past 142 years the solutions that recognised the value of the contemporary scientific research based on the results of the past, could improve the scientific and economical position of the Institute and simultaneously the position of the drilling core collection, which functions as an indicator of these latter.



## Bevezetés

A geológus számára (a geofizikai adatoktól most eltekintve) kétféle módszer adódik a földkéreg felépítéséről közvetlen információkat szerezni. A természetes vagy mesterséges feltárások általában több köbkilométernyi földtani képződmény több száz négyzetméternyi szelvényeszerű vizsgálatát teszik lehetővé. Megőrzésük és megóvásuk régóta a hazai tudományos természetvédelem területéhez tartozik. A földkéregbe mélyült fúrások magmintáinak védelme hatványozottabb jelentőségű, mivel az így kinyert tárgyi információ alig éri el a néhány négyzetméternyi vizsgálható felületet, és ezek az információk olyan hozzáadott adatokat tartalmaznak, amelyek szintén védelemre szorulnak. Megóvásuk épített környezetet, igényes tárolási és pontos nyilvántartási rendszert követel. Míg az első esetben egy-egy feltárás részleges pusztulása akár több száz évig is tarthat, a fúrómagok használható információ-tartalmának teljes megszűnése pillanatok alatt megtörténhet. Hasonlóképpen, míg egy feltárás eredeti állapotának visszaállítására általában van lehetőség és alig jelent költségterhet, addig egy-egy fúrás maganyaga vagy pótolhatatlan, vagy csak hatalmas költségek árán pótolható.

A Magyar Állami Földtani Intézet megalakulása óta rendelkezik a kutatásai során fúrt, illetve részére adományozott magmintákkal, amelyek megőrzése mindig nehézségeket okozott, és amelyben, szemben a feltárások és alapszelvények megóvásával, csekély segítségre számíthatott. Jelen tanulmány a hazai földtani kutatás fellegvárának számító Magyar Állami Földtani Intézet történetén keresztül a fúrási magminták értékére kíván rámutatni, és szeretne bepillantást engedni azokba az összefüggésekbe, amelyek ezek mindenkori értékét és tudományos felhasználhatóságát is meghatározták.

A Magyar Állami Földtani Intézet mint Európában harmadikként (1869-ben) alapított földtani kutatóintézet (Angol Földtani Intézet, 1835; Osztrák Földtani Intézet, 1849) mellett, hogy mind alaptervekenységében, mind székházát illetően a magyar nemzet európai szinten védendő értékei közé tartozik, számos olyan egyedülálló földtani adattal és kézzelfogható, anyagszerű információval (kőzetgyűjtemények) rendelkezik, amelyek önmagukban is besorolhatók a védelem alá szoruló nemzeti érték (Hungarikum) vagy nemzeti kincs kategóriába.

Az elmúlt évek gazdasági nehézségei arra kényszerítették a MÁFI vezetőségét, hogy vegye számba ezeket a pusztulás szélére sodródott, közel másfél évszázada létező és gyarapodó értékeket, nehogy az alulfinanszírozottság és a mindenkori minisztériumi vezetés, valamint a kormányzat részéről fennálló információhiány következtében pótolhatatlan veszteségek ériék az intézetet és ezáltal a hazai földtani kutatást. Ezek közül az egyik legveszélyeztetettebb és komoly anyagi ráfordítást igénylő terület éppen a magyarországi földtani kutatás legfontosabb információit hordozó fúrási magmintagyűjtemény. Első lépésnek tekinthető az intézet Kutatói Tanácsának ebben a témában tett állásfoglalása, majd az intézmény megbízott igazgatója által elrendelt, 5 évre

visszatekintő statisztika elkészítése a magminták igénybevételeiről. Ez a jelentés már tartalmazta mellékletként a magmintaraktárak rövid történetét is (KERCSMÁR et al. 2011). Ezzel párhuzamosan 2011 első félévében az MBFH és a MÁFI együttműködésének keretében megfogalmazódott az igény a gyűjtemény további sorsának a rendezésére, amely a jelen állapotok pontos felméréseivel, és a továbblépéshez szükséges, más hasonló gyűjtemények működésének példáin alapuló tervek elkészítésével kezdődött. A MÁFI Földtani Kutatási Osztályának közreműködésével előzetes állapotfelmérés történt a magmintákat őrző négy raktárban. Az eredmények és a nemzetközi kitekintés összefoglalása, valamint a további tervek a munkáról készült 70 oldalas jelentésben olvashatók (MAROS 2011).

Mint minden tudományos munka kezdete, a tudományos értékek, ezen belül a fúrási magminták számbavételének is egyik nagyon fontos és kikerülhetetlen lépése volt a jelen állapotot megelőző történetiség rögzítése. Az adatgyűjtés során világossá vált, hogy a kőzetminták gyarapodása, tárolása, kezelése, adatszzerű és tudományos feldolgozása és az ebből született eredmények közzététele az intézet története során időről időre változott. A negatív történelmi események sokfélesége végül mindig súlyos pénzhiányhoz, anyagi nehézségekhez vezetett. Megállapítható volt az is, hogy a gyűjtemény (mint megfogható, vizsgálható, fizikailag jelenlevő tudományos adat) állapotát hosszú évtizedekre meghatározták a történelmi események (háború, gazdasági nehézségek, tudáspolitikai irányok) és az ezekre választott adott intézeti stratégiák. Amennyiben végigtekintjük a MÁFI 142 éves története során előállt „nehéz” éveket, azt tapasztaljuk, hogy függetlenül a történelmi korszak eseményeitől, alapvetően kétféle választott problémák megoldására: ezek vagy az elődeink által felhalmozott értékek és tudományos eredmények megmenekülését, sőt, gyarapodását eredményezték vagy ezek sorvadását és pusztulását okozták.

Jelen tanulmány a teljesség igénye nélkül, de az alaposág követelményével igyekszik a fúrómagminták gyűjteményének példáján keresztül bemutatni ezeket a történelmi kihívásokra adott intézeti válaszokat. Az áttekintést 1877-től, a néhány kivétellel évente, néha több év összevonásával megjelenő intézeti évi jelentések anyagai tették lehetővé, amelyekben a mindenkori igazgatók, vagy az általuk megbízott vezetők az intézet tudományos életének legfontosabb eseményeit, eredményeit és irányvonalait rögzítették. Az intézet szecessziós palotája („Art Geo Palota”) születésének körülményeit korabeli dokumentumokkal egy reprezentatív könyv (HÁLA, MAROS 2000), tevékenységeinek átfogó történetét pedig egy több mint 100 éves ismertető füzet (BÖCKH, SZONTAGH 1900) és két kiváló monográfia (FÜLÖP, TASNÁDI-KUBACSKA 1969; HÁLA 1994) is megörökíti. Azonban mindeddig erre, az intézet tudományos kutatásaihoz szervesen kötődő működési terület történeti áttekintésére nem volt példa.

Bár jelen összefoglalás igyekszik tényszerű és feltáró jellegű maradni, nem tagadható, hogy a szerző a magmintaraktárak szükségességére vonatkozóan definíciószerű alap-

elvnek tekinti Hámor Géza igazgató véleményét: „Az itt koncentrált anyag, mintegy 3000 km fűrt rétegsort reprezentáló tárgyi dokumentáció a magyar földtan legnagyobb, pénzben is kifejezhető értékű, bármilyen közeli vagy távolabbi jövőben konvertálható vagyona.” (HÁMOR 1994).

### Kezdetek

(„Henger alakú kőzetminták” a bérházban, „fűrési próbák és szelvények gyűjteménye” a földtani palotában, 1869–1899)

Az 1869. június 18-án kelt királyi elhatározás jóváhagyta Gorove István földművelés-, ipar- és kereskedelemügyi miniszter 1869. június 11-i előterjesztését a Magyar Királyi Földtani Intézet felállításáról. Az ekkor megszületett alapító okiratban olvashatjuk: „Az intézet által létesítendő kőzet-, és őslénytani gyűjtemények oly módon állítanak fel, hogy ezek által a magyar államterületet, valamint egyes hegységeinek földtani alkotását minél részletesebben tüntessék elő.” Ez az alapelv mindvégig érvényben volt az intézet földtani kutatásaival kapcsolatosan.

Az intézet alapítása után megindult kutatómunka természetesen maga után vonta a kőzetgyűjtemény létrejöttét és folyamatos gyarapodását, azonban intézeti gyűjteményről először csak az 1882-es évről szóló Évi Jelentésben olvashatunk. A kutatómunka gyűjtemény-gyarapításával párhuzamosan az intézet klasszikus gyűjteménybővítési tevékenységet is végzett. Vásárolt, cserélt, adományként befogadott kőzettani és őslénytani kollekciókat, sőt, az intézet munkatársait és a földtanni kapcsolatba kerülő cégeket és magánszemélyeket is fokozott gyűjtő (és adományozó) tevékenységre szólította fel (BÖCKH 1887).

Az intézet az 1899. évben történt új épületbe költözéséig a gyűjtemény folyamatos helyszűkével küszködött, amint ez Böckh János 1883-as igazgatói beszámolójából is kiderül: „... az intézet mindjobban érzi annak hiányát, miként 14 és fél évi fennállása dacára még mindig bérházban kénytelen vergődni! Várva várjuk már az intézet e vitális kérdésének a mielőbbi üdvös megoldását, mi által egyszersmind úgy a gyűjtemények, mint a máris meglehetősen terjedelmű és tetemes értéket képviselő szakkönyvtár és térképtár legbiztosabb elhelyezést nyerhetnének.”

Az 1885-ös Évi Jelentésében Böckh János az alapító okiratban lefektetett három alapvető gyűjteményi forma mellett megemlíti a „bányászati gyűjteményt”, ami gazdaságilag hasznos nyersanyagok kollekcója volt és minden bizonnyal a bányászati kutatási és feltáró tevékenység fűrési magmintáinak gyűjteményét is magában foglalta.

A fűrési magminták első említése az intézet 1886-os évről szóló működési jelentésében olvasható, amiben is „henger alakú kőzetminták” adományról (azaz fűrőmagokról) számol be Böckh János igazgató (BÖCKH 1887).

Ebben az időszakban az intézeti gyűjtemény egy része a Zichy Antal telkén épült új helyiségekbe került. A gyűjteménytárolásra 8 darab dőlt és három faliszekrény, valamint a régi épületben maradt 6 darab nagy és 2 kisebb

dőlt és 6 faliszekrény szolgált. A gyűjtemény helyzete azonban néhány évvel később sem javult, pedig akkor már az intézet a földművelési miniszteri palota teljes 6. emeletén működött. Erre utal az 1887-es igazgatói beszámoló is, miszerint „... kívánatosabb gyűjteményeinkre nézve óhajtható helyzetünknek gyökeres javítása” (BÖCKH 1888).

A fűrési magminták önálló gyűjteményi kategóriaként való megjelenéséről, elhelyezéséről és annak kezelőjéről, valamint mecénásáról először 1889-ben ad jelentést Böckh János, amikor beszámol a „fűrési anyagminták és szelvények gyűjteményének” a Győri Vízvezetéki Részvénnytársaság jóvoltából 1888-ban történt gyarapodásáról, valamint amikor Halaváts Gyula intézeti geológus „... a hódmezővásárhelyi ártézi kutaknak az eredeti anyagból összeállított, igen sikerült és tanulságos mintáit” említi föl (BÖCKH 1889). Megtudhatjuk, hogy a Halaváts-féle fűrés maradt-e „... a szükséges mennyiségben Telegdi Roth Lajos által elhelyezést nyert és gondozás alá vétetett ama, mint vélem, célirányosan szerkesztett szekrényben, melyet intézetünk működése minden irányaira védő kezét tartó nemes pártfogónk, Semsey Andor úr készítetett részünkre”. Még ugyanebben az évben a következőképpen fogalmazódik meg az egyre tetemesebb mennyiségű mintát tartalmazó gyűjteményi elhelyezés problémája: „Ha így ennyi s éveken át a legkülönbözőbb oldalról nyert támogatás mellett szép fejlődésben látjuk intézetünket, csak is aggódva látjuk mindjobban összeszűkülni a teret, mely gyűjteményeink elhelyezésére rendelkezésünkre áll...”.

Ettől az évtől 1899-ig, 10 éven keresztül minden igazgatósági jelentésben, a gyűjtemények fejezet alatt külön alfejezetként szerepel a „fűrési anyagminták gyűjteménye”, amelynek gyarapodása sokszor neves személyek által is biztosítva volt, úgymint az 1889-es évben a Tisza István gróftól kapott, az „új országház területére eső kémfűrészek által nyert fűrési próbák anyagából összeállított minták, és az átfűrt rétegek szerves zárványainak sorozata” (BÖCKH 1890).

1891-ben a fűrési anyagminták gyűjteményének kezelője Halaváts Gyula osztálygeológus lett, miután Telegdi Roth Lajos főgeológus a sztratigráfiai–paleontológiai gyűjtemény gondozását vette át. Az intézet szakmaiságáról, a kutatás, az eredmények közlése és a gyűjtemény összetartozásáról, valamint ezek megbecsülendőségéről ebben az évben így ír Böckh János: „a m. kir. földtani intézet szorosan vett geológiai felvételeivel s az ezekkel kapcsolatos munkálataival feladata magaslatán áll, ez azt hiszem, minden elbizakodottság nélkül állítható. Az sem tagadható, hogy úgy mint a tisztán geológiai térképek egyáltalán, úgy a hazai intézet ebbeli terményei már egy magukban is megbecsülhetetlen, mert szilárd, tudományos alapon álló és a közélet művelt elemei által jól használható adatokat szolgáltatnak nemcsak a tudománynak, hanem a gyakorlati élet legkülönbözőbb ágainak; tanúsítja ezt a keresettség, melynek földtani térképeink örvendenek, úgy bel-, mint a külföld tudományos köreiből, mint a gyakorlati életben. A bányászat, az ipar, a technika különféle irányainak földtani térképekben gazdag tárháza van már eddig is, mihez még

sorakozik a térképek magyarázó szövegeiben és egyéb közleményeinkben, valamint gyűjteményeinkben nyújtott megismertetés” (BÖCKH 1892).

A Földtani Intézet külön épületének elengedhetetlen szükségességét mutatja, hogy a gyűjteményekkel kapcsolatban Böckh János 1895-ben megjegyzi: a „... m. kir. Földtani Intézet meg nem felelő elhelyezés következtében kényes helyzetbe jutott...”. A helyzet megoldására ismét az állami felső vezetés (Festetics Andor gróf, földművelésügyi m. kir. miniszter) és az örök mecénás, Semsey Andor tesz lépéseket, amikor 1895. április végén felvetik az intézet külön épületének gondolatát (BÖCKH 1896). Az elkövetkezendő évek a fúrási próbák és szelvények gyűjteményének folyamatos gazdagodását hozták. A magyar földbirtokosok a saját földjeiken mélyült fúrások anyagát, vállalkozók, kútfúrómesterek az általuk kivitelezett fúrások magmintáit adták át az intézetnek.

Az 1898–1899. év az intézet új székházának építési munkálataival, annak átvételével és a beköltözés nehézségeivel telt el, de „ez idő alatt sem volt az intézet gyűjteményeinek gyarapodásában szünetelés” (BÖCKH 1901). Az intézet 1899. október 14-én már a földtani palotában folytathatta a működését. Az új épületbe költözéssel a „fúrási anyagminták gyűjtemény” neve „fúrási próbák és szelvények gyűjteménye” elnevezésre változott (BÖCKH 1901), jelezvén, hogy a kőzetanyagon kívül a teljes fúrási dokumentáció és az egyes fúrások szelvényrajza is szervesen kapcsolódik ehhez a kézzelfogható, kiállítható, megvizsgálható tárgyi információtomeghez.

### A gyűjtemény rendezése

(Fúrási magminták a tudomány szolgálatában és pusztulásuk az első világháború következtében, 1900–1919)

Az intézetnek Lechner Ödön által tervezett új földtani palotába való beköltözése a gyűjtemények, ezen belül is a „fúrási próbák és szelvények gyűjteménye”-nek egyelőre akadálytalan gyarapodását jelentette. Az igazgatói jelentések sorra beszámolnak az állomány növekedéséről, amelyek adományozóit név szerint is megemlítik (BÖCKH 1902, 1903, 1904). A beszolgáltatók között olyan ritka cégek is találhatók, amelyek egy-egy egyedülálló feladat megoldására jöttek létre, úgymint az Ecsedi-láp Leccsapoló és Szamos-balparti Ármentesítő és Belvízszabályozó Társulat, vagy a Főhercegi Építészeti Hivatal. A császári és királyi közös hadügyminisztérium különleges, két üvegcsőben összeállított pétervárad fúrási szelvényvel gazdagította a gyűjteményt (BÖCKH 1903).

Az 1904-es évtől Böckh János 1908. április 10-i nyugdíjba vonulásáig a fúrási próbák gyűjteményéről kevés szó esik az igazgatósági jelentésekben, amely önálló említés helyett a „Bányageológiai, mineralogiai és petrographiai gyűjtemények” címszóhoz csapódik. Ugyanakkor évente egy-egy fúrás minta-adomány így is fellelhető a jelentésekben. Ezek közül is kiemelendő a Duna–Tisza csatorna

építésének tervéhez készült néhány fúrási próba, amelyet a Magyar Királyi Minisztérium Hajózó Csatornák Tervező Kirendeltsége adományozott az intézetnek (BÖCKH, 1907).

1908. augusztus 11-én az intézet új igazgatójává a 60 éves, nagy tudományos tapasztalattal rendelkező id. Lóczy Lajost nevezték ki. Az 1914-es év intézeti évi jelentéséig a fúrómagminták gyűjteményéről nem esik szó, kivéve az 1910-es évet, amelynek jelentésében olvasható, hogy a MÁV zágrábi üzemvezetősége szekszárdi, bátaszéki és dombóvári artézi kutak mintáit ajánlotta fel az intézetnek (LÓCZY 1912).

Arról, hogy a fúrómagok sorsa mégsem volt közömbös Lóczy számára, az első világháború kezdetének évéről, 1914-ről szóló Évi Jelentés kapcsán bizonyosodhatunk meg. Ebben a jelentésben külön szerkesztett, 8 oldalas jelentés szól „Az 1913–14. évben rendezés alá került mélyfúrások kőzetanyagának feldolgozásáról és törzskönyvezéséről” (ZALÁNYI 1915). Itt olvashatunk először az intézet birtokában lévő fúrások hozzávetőleges számáról, és bepillantást nyerhetünk a Zalányi által kidolgozott fúrási törzskönyvbe is. A jelentés szerint ekkor a „magyar korona országainak” területén 2000-nél több fúrás mélyült. 1914-ben a Magyar Királyi Földtani Intézet birtokában ennek kb. 1/7-e volt. Zalányi beszámol róla, hogy a régebbi fúrások feldolgozása Halaváts Gyula és Szontagh Tamás munkásságának köszönhető, és megemlíti az „egyre szaporodó mintaanyagot”, amelynek rendezése és törzskönyvezése újabban, Lóczy utasítására lett tervbe véve. A rendszerezési munkát Szontagh Tamás igazgató irányította és felügyelte. Ennek keretében 132 helyről összesen 273 db mélyfúrás kőzetanyagát rendszerezték, azzal a céllal, hogy „... az egyes fúrások mintái bármikor átvizsgálhatók legyenek. Az elrendezésnél egyúttal arra is törekedtem, hogy a későbbi részletes vizsgálatok céljára, lehetőleg tiszta kőzetanyagok pontos mélység- és helyjelzéssel ellátva, a megfelelő rétegek iszapolva állhassanak rendelkezésre”. (ZALÁNYI 1915) A 273 db fúrásból az 1913–14. év folyamán, bár 30 db volt tervbe véve, 21 fúrást dolgoztak fel. A részletes feldolgozás során minden fúrás egy táblázatos törzskönyvet kapott, amelybe minden fontos információ (mélység, kőzet, kövületek, megjegyzések, kor) bekerült.

A rendszerezés és a feldolgozás mérhetetlen információs értékét látva, a fúrási magminták máig érvényes alapelveken nyugvó, gyakorlati hasznának első írásbeli megfogalmazása is ekkor történik meg: „... a mélyfúrások kőzetanyagának rendszeres begyűjtésével és feldolgozásával a gyakorlati geológia kívánalmainak igen fontos szolgálatot tehetünk. Az egyre halmozódó adatokból számos oly gyakorlati értékű, s egyúttal tudományosan is igazolható megállapításokhoz juthatunk, amelyekből mind több valószínűséggel következtethetünk a víztartó-vízrekesztő rétegek elhelyezkedésére és egymáshoz való viszonyukra”. Ugyanitt olvashatjuk a mai földtani kutatás élvonalát jelentő 3D-s földtani modellek korabeli, példásan mértéktartó megfogalmazását, illetve ezek gyakorlati, a magyar állam számára is hasznos felhasználási lehetőségeit: „A valóságot megközelítő biztossággal fűrészhetjük majd ki, legalább a

kisebb geológiai területegységekre nézve a víztartó rétegek árját. Realisabb alapot nyerhetünk a mélyfúrások kijelölésének oly fontos kérdéséhez. Az ország altalajára vonatkozó ismereteink így széles körben fognak gyarapodni, s bizonyos közegészségügyi, közgazdasági, jogi és közgazdasági kérdésben, az olyan fontos összehasonlító anyaggal rendelkezve, értékes felvilágosításokat adhatunk”. (ZALÁNYI 1915)

Az egyre több pótolhatatlan térbeli és időbeli információt hordozó, feldolgozott fúrási magmintagegyűjtemény tudományos és gyakorlati értékére ráérezve, 1915-ben Zalányi Béla elsőként fogalmazta meg, hogy a „megfelelő módon begyűjtött mélyfúrások kőzetanyagának rendszeres feldolgozása és törzskönyvezése a m. kir. Földtani Intézet közérdekű feladatai közé tartozik”.

Lóczy az 1915. évről szóló jelentésében már a „fúrópróbák gondos leltározásáról és folyamatos feldolgozásukról” ír. Ettől az évtől az intézet „fúrópróbáinak gyűjteménye jelentősen felszaporodik” a vízrajzi törvény végrehajtási rendelkezés módosulása miatt, amely előírja az artézi kutakat fúró vállalatoknak a magminták kötelező beküldését. Hasonlóképpen a MÁV Balaton-parti mérnöki kirendeltsége, a nagymértékű balatonkenesei partfalomlás környékén fúrt kis mélységű magmintákat adott át az intézetnek. Ennek a egyéb beszolgáltatások következtében az 1916. évi intézeti jelentésben Zalányi már a mélyfúrásokból származó kőzetminta-gyűjtemény jelentékeny gyarapodásáról adhatott számot. Ebben az évben 92 helyről 173 db mélyfúrás kőzetanyaga került a feldolgozást közvetlenül megelőző gyűjteményi rendezés alá. Az intézet rendezett fúrómagminta-állományáról pontos kimutatást kapunk, amely 1913-16 között immár 241 helyről származó, 541 db fúrás foglalt magában. Ez az 1914-es évhez képest, alig több mint egy év alatt a gyűjtemény megduplázódását jelentette. A magok elhelyezésére ekkor 6 gyűjteményes szekrény szolgált és nyilvántartásuk 300 törzslap alapján történt (ZALÁNYI 1917).

A háború miatti zűrzavaros időkben, a szűkös anyagi lehetőségek miatt az intézet Évi Jelentései az 1917-es évet követően csak 1923-ban jelenhettek meg újra. A háború és a kommunista diktatúra által megviselt intézet megpróbáltatásairól szóló rövidített, az 1917–19 közötti időszakot fellelő, még Lóczy által írt jelentés „maradványát”, Szontagh Tamás, a Lóczy nyugdíjba vonulása után megbízott igazgató szerkesztette egybe az intézet munkatársainak beszámolóival (SZONTAGH 1923). A háború első éveiben még gazdagon kibontakozó, a magmintákat gondosan rendszerező, vizsgáló és dokumentáló munkálatok eredménye és a gyűjtemény helyzete a háború végét jelentő időkben a teljes zűrzavar állapotába süllyedt. A tervezésében, munkálataiban és tudományos kutatásaiban teljesen megbénított intézetben egyetlen munka folyhatott: a hasznosítható ásványi nyersanyagokra vonatkozó adatoknak törzskönyvezése, azaz a „szabad területek” dokumentációja. A gondosan összeállított, gyakorlati és tudományos értékeket egyaránt hordozó gyűjteményi anyagok sorsa, a „korszellemnek megfelelően”, kizsákmányolás és szétszórás lett. A

fúrómagminta-gyűjteményt közvetlenül felügyelő Szontagh Tamás leplezetlen keserőséggel írja: „... igen nagy szomorúsággal kellett látnunk ritkaszerű múzeális gyűjteményeinknek szétdúlását, és az értékes tárgyak tekintélyes részének Nemzeti Múzeumba elszállítását”. (SZONTAGH 1923) 1918 végén és 1919-ben az újonnan kinevezett múzeumi és gyűjteményi felelősök a maradék múzeumi anyag átrendezéséről döntöttek, amelynek Lóczy (bár az átszervezés egyes elemeit jónak találta) a „proletárdiktatúra beálltáig”, az intézet munkatársainak eltérő véleménye miatt mindvégig ellenállt. A Földművelésügyi Népbiztosság kötelező átszervezési határozatára azonban „Jekelius vezetésével megindult a rendszeresen felállított gyűjtemények szétbontása, a szekrények össze-visszacserélése. Augusztus végéig, a proletárdiktatúra bukásáig, oly alapos felfordulást végeztek, hogy évek munkájára volt szükség, amíg a rendet ismét helyreállíthattuk”. (PÁLFY 1925)

Közel 20 évvel a földtani palota átadása után a rendezett és egyre gyarapodó fúrómag-gyűjtemény gyakorlati és tudományos hasznosulásának küszöbén, végül ismét századforduló előtti állapotokkal találkozunk. Nemcsak a gyűjtemény és a földtani kutatás szenvedett hosszú évekre kiható, pótolhatatlan károkat, hanem a megtámadott és posztjáról hat nap alatt eltávolított, majd a „rémuralom bukása után” állásába visszahelyezett Lóczy Lajos igazgató is megrendült egészségében, ami 1919. novemberi nyugdíjba vonulását eredményezte. Ezzel elkezdődtek az intézet eddigi történetének 1923-ig tartó, legsiralmasabb évei.

### A megújulás évei

(Útkeresés „isten gondviselésbe vetett hittel és törhetetlen akarással” (IFJ. LÓCZY 1939), 1920–1944)

A háború miatti anyagi nehézségek és a korszellemre hivatkozó, divatos ideológiai eszméket hirdető emberi tudatlanság és gyengeség miatt az intézet kiterjedt tudományos kutatásai és alapfeladatai is csorbát szenvedtek, ahogy arról a Lóczyt követő, majd nyugdíjba vonult Szontagh Tamás helyett Pálffy Móric az 1920–23. évi igazgatósági jelentésben számolt be: „Az intézeti tagok tudományos munkájára is hatással voltak az Intézet mostoha anyagi viszonyai. Éveken át nem volt télen az Intézetben rendes fűtés; az anyagiakkal való állandó küszködés, amikor a családos embereknek egy havi fizetésük még a hónap első harmadában is alig volt elég a mindennapi kenyérre, hátrányosan befolyásolták az emberek munkáját és munkakedvét. Mindezek dacára az intézeti tagok nagy önmegtartóztatással igyekeztek feladatuknak megfelelni.” A korra jellemző adat, hogy a geológusok külső munkáira, azaz a terepi kiszállásokra csak kéthetnyi fedezet volt biztosítva, és a kutatók egy része megbízásos munkákon dolgozott, vagy nyersanyagterületek értékes, de tudományos szinten csekély hasznot hozó, irodai felbecslésével foglalkozott (PÁLFY 1925).

Ebben a nehéz helyzetben sokáig Pálffy Móric 1924-ről írt igazgatósági jelentése az utolsó, ami megemlíti a

fúrásminták gyűjteményét, amelyben felemlegeti a nyugdíjba vonuló Szontagh Tamás érdemeit az „igen gazdag fúrás minta gyűjtemény” gyarapításában és a feldolgozás előremozdításában (PÁLFY 1928). Sajnos a jelentés pontos adatokat nem közöl a háború és az azt követő évek veszteségeiről. Szontagh és Pálffy „minden igyekezetük és jó szándékuk ellenére sem tudták az Intézet munkásságát az eléjük tornyosuló nehézségek következtében a régi kerékvágásba visszatéríteni. Az ő nevékhöz fűződik a proletárdiktatúra után maradt romok eltakarítása. A teljesen felforgatott múzeumban, a rendet helyreállították” — írja később ifj. Lóczy Lajos 1939-ben. A helyreállítás eredményeképpen 1923 júniusában ismét megnyitott a zavaros idők után rendbe tett múzeum.

A báró Nopcsa Ferenc és Böckh Hugó igazgatósága alatt (1932-ig) megjelent intézeti jelentések a fúrómagok gyűjteményéről nem szólnak, azonban az ő idejükhöz kapcsolódik az újrendezett múzeumi anyag leltározásának és feldolgozásának ismételt megkezdése, amelybe minden bizonytalanság a fúrás magminták megmaradt példányai is beletartoztak.

A két kiváló kutató összesen 9 évnyi igazgatósága jól példázza a nehéz helyzetből való kilábalás útkeresését. Az akkori dilemma megdöbbentő azonossággal, szinte a XXI. század első évtizedének végén jelentkező gazdasági válság miatt előálló anyagi nehézségek aktuális kérdését teszi fel: *szükség van-e a közvetlen anyagi haszonnal alig bíró, vagy csak később megtérülő tudományos kutatásra? A két igazgató közül Nopcsa vezetése alatt (1925–1928) élénk és beható tudományos munka indult meg, és újraéledtek az intézet gazdag kiadványai is. Ez a korábbi tudományos anyag feldolgozásának újraéledését is jelentette, amelybe nagy valószínűséggel a fúrásokból kinyerhető információk is beletartoztak. Az újbóli lábra állás kezdetét jelzi, hogy elsőként Nopcsa szorgalmazta „a pénzügyminisztérium Bányageológiai Osztályának a Földtani Intézetbe olvasztását, eréllyel hangoztatván, hogy míg a legtöbb hatalmas ország megelégszik egy földtani intézettel, addig Csonka Magyarországnak két állami geológiai intézete van” (LÓCZY 1939). Kiemelte ezzel és visszaállította a Földtani Intézet mindenkorai szakmai és erkölcsi presztízsét is.*

Nopcsával ellentétben Böckh Hugó (1929–1931) az intézet gyakorlati téren való megerősítését szorgalmazta. Nopcsa tervét, a minisztériumi Bányageológiai Osztály intézetbe olvasztását is csak ő tudta megvalósítani, átszervezve az intézményt és vállalva ezzel a munkatöbbletet, ugyanakkor jelentősen növelve az intézet munkakörét az állami szektor területén. Ez sajnos egyenként és témánként „5–6 évnyi megfeszített munkát követelő geológiai feladatkör” (LÓCZY 1939) eredményeinek gyakori befejezetlenségéhez és a részleteredmények közzétételének elmaradásához vezetett, ami a tudományos kutatásra fordított idő és anyagi csökkenését, végül az eredmények elvesztését jelentette. „Az intézeti geológusok ily módon még régebbi kutatásaik eredményeinek közléséhez sem jutottak hozzá s így sok szellemi érték veszett el” (LÓCZY 1939). Bár az átszervezés az intézet korábbi tudományos kutatási eredményeinek elvesztésével

fenyegetett, a széles tevékenységi kör anyagilag megerősítette a Földtani Intézetet, jövője szempontjából azonban a kizárólagos irányokat meghatározó, szűk látókörű igazgatókat felváltó, az ő nézőpontjaikat egyesíteni képes, édesapja nyomdokain járó ifj. Lóczy Lajos igazgatósága jelentette a fordulópontot. Az ő munkássága alatt kerülnek ismét előtérbe a tudományos és gyakorlati szempontból felbecsülhetetlen értéket képviselő fúrás magminták.

Lóczy igazgatásának múltban gyökerező, mégis korszerű alapelvét a következőképpen fogalmazta meg: ... *Böckh Hugó nyomdokain haladva, a gyakorlati irányt fenntartottam és továbbfejlesztettem, de ugyanakkor törekedtem a tudományos irányú reambuláció és belső munka visszaállítására is, mert állandóan a szemem előtt lebegett az a tudat, hogy a gyakorlati célú kutatás sikerének legfőbb alapja a regionális jellegű, tudományos geológiai térképfelvétel, és hogy a múltban végzett térképfelvételek eredményeiből már nem soká meríthetünk.” (LÓCZY 1939)*

Lóczy az intézet múzeumát és gyűjteményét nagyrészt leltározatlan állapotban vette át. Első lépéseinek egyike a leltározási munka elindítása volt, majd többek között a Böckh Hugó által felállított „fúrás laboratórium külföldi mintára történő átszervezése” következett (LÓCZY 1939). Beszámolójában olvashatjuk: *„Továbbfejleszttem a fúrás próbáknak a külföldi petróleum társulatoknál megismert tudományos vizsgálatainak módszereit. A mélyfúrásokból kikerült kőzetanyagot, a felállított fúrás laboratóriumunk azonnal iszapolja, előkészíti, majd közzétani, öslénytani és rétegtani szempontból feldolgozza. Elsősorban súlyt helyeztem a beérkező fúrás szelvények és fúrás minták pontos elhelyezésére és lajstromozására, valamint azok feldolgozására...” (LÓCZY 1939). Ma is ez több, világszerte működő, földtani mintatárolással és feldolgozással foglalkozó cég korszerű és jól működő tudományos és gyakorlati alapelve (LANTOS 2011). Hosszú évek után ebből az időszakból van ismét számszerű információ a fúrás magmintákról. Ezek alapján megtudható, hogy ekkor a közel 6500 alföldi artézi kút fúrása közül az intézetnek 3300 fúrásról volt megbízható feljegyzése, amelyek közül 450 fúrás mintaanyaga volt meg az intézetben. Céllá vált az összes artézi kút adatainak visszamenőleges megszerzése. Lóczy munkásságának eredményeként adja közre: *„ma már az a helyzet, hogy az Intézetet a gazdasági irányú kutatások terén öt különböző minisztérium veszi igénybe. A m. kir. Földtani Intézet ezeknek a feladatoknak elvégzésére megfelelő tudományos és technikai felszerelésekkel, az országban egyedülálló szakkönyvtárral, térképtárral, a felvételekhez szükséges tudományos műszerekkel, továbbá fúróberendezésekkel, ezen felül pedig a legkülönbözőbb anyagok tudományos vizsgálatára minden tekintetben alkalmas kémiai, talajtani, kőzetcsiszoló, valamint fúrás minta-vizsgáló laboratóriummal rendelkezik. A felsorolt munkakörök szervesen összetartoznak, mert valamennyinek alapja és kiinduló pontja a geológiai térképfelvétel, közös eszköze pedig az Intézet felszerelése.” (LÓCZY 1939)**

Ezekről az évektől kezdve 1944-ig, ifj. Lóczy Lajos háború végén bekövetkező, több éven át tartó kényszerű,



fizetés nélküli szabadságolásáig (marokkói és törökországi expedíciók) az intézet minden éves jelentésében beszámolókat olvashatunk a fenti alapelveken működő mélyfúrás laboratórium munkájáról, a beérkezett fúrás magminták vizsgálatáról, és ezek rendszeres elhelyezéséről. Ezzel hosszú időre lezárult a fúrás minták tervszerű és következetes beszerzése, azokból a lehető legtöbb földtani információ szisztematikus kinyerése, és azok széles körű tudományos és gyakorlati hasznosítása.

### Az ipari célú kutatások fellendülése

(A második világháború végétől a rendszerváltásig, a romok eltakarításától az intézeti alapfúrás szelvényeken át a tájegységi magmintaraktárak létrejöttéig, 1944–1989)

A második világháború az elsődik hasonlóan romokat hagyott maga után. Részben a gyűjtemény, valamint az intézet értékeinek elrejtését vagy elköltöztetését, részben szétszórását és megsemmisülését eredményezte. A háború időszakára vonatkozó intézeti összefoglaló jelentések csak az ötvenes évek elején jelentek meg. Ezekből megállapítható, hogy közvetlenül a háború utáni években a „mélyfúrás és mikropaleontológiai laboratórium” csak az éppen beérkező fúrás mintákat dolgozta fel és osztályozta (SZALAI 1952a). 1949-ben készült el ismét a fúrás minták nyilvántartása, amelynek alapján ekkor 1070 db mélyfúrás anyaga volt az intézet birtokában (SZALAI 1952b). A Mélyfúrás Laboratórium munkájáról 1950-ből találjuk az utolsó feljegyzést: a „Vízügyi Osztály, a Mélyfúrás Laboratóriummal karöltve összeszedte az Intézetben fellelhető fúrások mintaanyagát és kiselejtezte a tudományos szempontból értéktelent.” (SZALAI 1953). A leírásból világosan kiderül, hogy a korábban rendszeresített fúrás mintaanyag szétszórva, nehezen fellelhető és összeszedhető állapotban volt, amelynek egy része a háborús viszonyok miatt teljesen értéktelenné vált. Az ötvenes évekből több feljegyzés nem utal a magminták további állapotára és sorsára.

Az 1960-as évek elejére az intézmény vezetésében ismét megfogalmazódott „a földtani térképezés során gyűjtött minták és a mélyfúrás mintaanyag végleges formában való elhelyezésének” igénye (FÜLÖP 1964). Ebben az időszakban épült ki az adattári rendszer, amelynek munkatársai 1962-ben befejezték a Dunántúlon addig lemélyített fúrások nyilvántartásba vételét. Fülöp József igazgató szerint a Földtani és a Geofizikai Intézet közös irányítás alatti munkálatainak, és az „együttes erőfeszítések hatékonyságának nélkülözhetetlen alapfeltétele” volt, „hogy a mélyfúrások is megfelelő módon állnak a Földtani Intézet rendelkezésére” (FÜLÖP 1965). Ennek ellenére a végleges formában való elhelyezés tovább váratott magára, amit jól mutat a magmintákról szóló jelentések 1970-es évekbeli teljes hiánya.

A fúrómagminták gyűjteményének problémakörében az 1980-as évek elején tapasztalhatunk áttörést, amikor Hámor Géza igazgató „hosszú vajadás után” megfogalmazza, „hogy főleg és elsősorban az intézeti alapadatok (országos

jelentőségű alapfúrások, alapszelvények) feldolgozására kell koncentrálnunk, melyek alapját képezik minden további kutatásnak” (HÁMOR 1983). Ebben az időszakban az intézet saját költségén még 3 db új alapfúrást is lemélyíthetett, amelyek a szűkülő anyagi lehetőségek miatt az eddigi utolsó, nagyobb mélységű kutatófúrások közé tartoztak. Ennek következtében egyre nagyobb igény jelentkezett a korábbi fúrások vizsgálatára, azok korszerűbb, vagy hiánypótló feldolgozására, és a fúrómagok e célokat jobban kiszolgáló elhelyezésére. Ennek érdekében az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt segítségével „elkészült Szolnokon az Intézet alföldi magminta-raktára”, ahol további „2000 m<sup>2</sup> alapterületű, maganyagok tárolására alkalmas raktár” terve is megfogalmazódott (HÁMOR 1983).

Az 1980-as évek második felében az intézeti struktúra átszervezésével, a magmintákat tájegységenként tároló négy nagy magmintaraktár (Pécs–Vasas, Szépvízér, Rákóczi-bányatelep, Szolnok) a Dokumentációs Főosztály Gyűjteményi Osztályához került (HÁMOR 1989). Ettől kezdve a magmintákat e négy telepen helyezték el.

### A pusztulás szélén

(„Milliárdos értékek” az iparban, felbecsülhetetlen értékek a tudományban, 1989–2011)

A fúrómagok és magládák, valamint a telephelyek állapota a mindenkori anyagi lehetőségek függvényévé vált, ugyanakkor tudományos és gyakorlati jelentőségük megnőtt, mivel 1989–1990-ben az intézeti alapfúrás tevékenység minimálisra csökkent, majd megszűnt, amit az intézet a „magmintaraktárakban őrzött magfúrások részletes vizsgálatával kompenzált” (HÁMOR 1992).

Az anyagi lehetőségek megcsappanása mellett, a megszűnő bányavállalatok fúrás magmintáit átvéve a fúrómagminta-állomány az 1980-as, 1990-es évek fordulóján ugrászerűen többszörösére nőtt. Hámor Géza igazgató jelentése szerint az intézet birtokába kerülő MÉV, OFKfV, Borsodi Szénbányák, Tatabányai Szénbányák és a Recski Rézérc Művek fúrás magraktárainak anyaga „milliárdos értéket” képvisel (HÁMOR 1992). Ekkor jelent meg az 5 év alapfúrás tevékenységét dokumentáló „Alapszelvények és alapfúrások katalógusa 1985–1990”, és ezekben az években mélyült az eddigi utolsó intézeti földtani alapfúrás (Szombathely II. sz. fúrás).

1991-ben az intézet magmintaraktáraiba kerültek a MÉV kővágószőlősi (125 fúrás 10 700 magláda), a Tatabányai Szénbányák Vállalat csordakúti (180 fúrás 600 zsák), valamint a Bauxitkutató Vállalat halimbai (90 fúrás 300 zsák) raktárának anyaga, továbbá a Vituki-tól átvett metró-, és budapesti fúrások (600 fúrás 1200 zsák) mintái. Ebben az évben készült el az újonnan átvett fúrások kivételével a rákóczi-telepi, a szépvízéri és a pécs–vasasi raktárak teljes fúrásállományának számítógépes nyilvántartása is (GAÁL 1992). Jellemző és fontos adat az 1990-es évek elejéről, hogy az intézet összes bevételeinek megoszlásában a legnagyobb részarányt, 23,1%-ot (mintegy 90,8 MFt-ot) foglal

el a fúrómagminta raktárak szolgáltatásait is magában foglaló, „Központi dokumentáció és szolgáltatások” címszóhoz rendelt érték. Ezen belül is 13,5%-ot (53,2 Mft) a „Dokumentáció és adatszolgáltatások” alcím! Látható tehát, hogy a magminta-állomány és az akkor még intézeti kezelés alatt álló adattár kutatási célokra való felhasználása az intézet jelentős bevételi forrásaként jelent meg.

Az állami bányavállalatok magmintáinak átvételével az intézet fúrómagminta-állománya 13 400 db mélyfúrás anyagát tartalmazta 1992–93-ban (KORDOS 1996). A magminta-állomány növekedési ütemét jól mutatja, hogy 1993-ban 1280 fúrás 950 zsáknyi anyaga érkezett a Bauxitkutató Vállalat jogutódjaként működő Geoprospect Kft-től, 180 zsák etalon minta a Tatabányai Szénbányák Vállalattól és 95 fúrás 169 zsáknyi mintája a budapesti Cserei utcai raktárból (GAÁL 1992).

Az 1994–95-ös években kitűzött cél volt a „*leltározott tételek és az alapfúrások fokozott védelme*”. 1995-ben Gaál Gábor igazgató utasítására az intézet részben átvett, részben archív fúrási magmintáinak állapotfelmérésére „*létrejött a Fúrási Magminta Bizottság, ami 6 ülésen megtárgyalta a magminteraktárak aktuális kérdéseit, megvitatta és elfogadta a magminteraktárak távlati fejlesztési koncepcióit, megvizsgálta és engedélyezésre előkészítette a beérkezett vizsgálati kérelmeket. Az intézet 1995-ben kiemelt feladatnak határozta meg a magminteraktárak állagmegőrzését, ami egy széleskörű felmérés alapján, a súlyozott feladatok meghatározásával megvalósult, s ezzel részben sikerült megállítani a nagy értékű magminta gyűjtemény további állagromlását.*” (GAÁL 2000)

Az 1995-ben elfogadott fejlesztési koncepció folytatásaként 1997–98-ban „*a magminteraktárak állagvédelme és fejlesztése érdekében Szolnokon 600 magláda befogadására alkalmas állványrendszer készült*”. Ekkor az Intézet magminteraktárakban őrzött mélyfúrásainak száma 13 400 db (ebből 158 db alapfúrás), a magládák száma 88 724 db, a dokumentációs anyag 25 025 egység volt (BREZSNYÁNSZKY 2002). Brezsnýánszky Károly, folytatva a korábbi évek értékmegőrző munkáját, a fúrómagmintákat kezelő Országos Földtani Múzeum állandó feladatának szabta a gyűjtemények fejlesztését, az állomány megőrzését és nyilvántartását, valamint a kutatómunka támogatását.

A szolnoki új állványrendszer teljes kiépítése és mintanyaggal való feltöltése 2000 elejére valósult meg. Ekkorra fejeződött be a pécs–vasasi mintaraktár külső területen tárolt mintáinak átvizsgálása és dokumentációs kigyűjtése is, valamint megkezdődött a belső szabadtárolásos minták feldolgozása. Az átvizsgálás eredményeképp 4000 db magláda felszámolása és 89 kockaladás mintaanyag elhelyezése történt meg, ami már megjelent az intézet számítógépes nyilvántartásában is (BREZSNYÁNSZKY 2003). Ettől az évtől kezdve az intézet fúrási magmintagyűjteményét hivatalosan Országos Magminta Gyűjtemény néven említik, ami az átvizsgálás és selejtezés után, 2001-ben 11 800, 2002-ben az intézet szolnoki raktárába került 2 telkibányai fúrással együtt 11 802 fúrás anyagát tartalmazta. Nagy előrelépésként a teljes állomány gyorslistája felkerült az intézet

Intranetes hálózatára, megkönnyítve a magminták közti gyors tájékozódást és keresést.

Az elkövetkezendő évek egyre nehezebb anyagi körülményei között a magminteraktárak és az azokban őrzött fúrások magmintáinak állagmegóvása fokozatosan egyre nagyobb terhet rótt az intézetre. A részleges renoválások eredményeként 2003-ban sikerült megszüntetni a pécs–vasasi mintaraktár életveszélyességét és ezzel párhuzamosan több épület felújítása is elkészült. Ugyanitt, még ebben az évben a magminták dokumentációs kigyűjtésével végleg sikerült felszámolni a mintákat fokozottan veszélyeztető nyíltszíni tárolást. 2004-ben Szolnokon felépült az új raktárcsarnok és a Fertőrákoson tárolt 950 magládát tartalmazó gyűjteményt is átszállították Pécs–Vasasra.

2007-ben ismét előtérbe került a magminták tárolásának racionalizálása, amelyet a fokozatosan csökkenő állami támogatásból nem tudott megfelelő módon finanszírozni az intézmény, így a hatalmas tudományos és alkalmazott földtani értéket képviselő magmintaanyag további állagmegőrzése is bizonytalanná vált. Ebben az évben központi beruházás keretében készült el a szolnoki magminteraktár új csarnokának beállványozása, aminek következtében „*lehetőség nyílik a magminteraktárak anyagának racionális apasztására, és a megőrzésre minősített minták fokozott védelmére*” (NÁDOR 2009). Első lépésként az intézet munkatársai a Szépvízéren szabad éj alatt őrzött magminták felülvizsgálatát végezték el, és döntöttek a selejtezendő és a kimintázandó fúrások köréről.

A fúrási magminták megkezdett áttekintését és selejtezését, valamint a magminták egy központi raktárba (pl. szolnoki magraktár) való elhelyezését, és ott egy korszerű magas szintű kutatóbázis kialakítását, az anyagi források előteremtésének szükségessége miatt előállt pénz-, idő-, és szakemberhiány, valamint a minimumra és az alá szorított anyagi lehetőségek mostanáig megakadályozták. Ugyanakkor a bányászatról szóló törvény, — és annak a közeli jövőben várható újabb végrehajtási rendeletei — valamint a Magyar Bányászati és Földtani Hivatalról, a MÁFI-ról és az ELGI-ről is szóló tavaly év végi kormányrendelet-módosítás következményeként minden bizonnyal jelentősen élénkíteni fog a magminteraktárak és az országos földtani adattárak használata. Ez vonatkozik az állami háttért biztosító kutatóintézményekre éppúgy, mint a gazdaság szereplőire, és főleg a koncessziós pályázatok benyújtóira és nyerteseire.

Mindezeket felismerve 2011. január 11-én a Magyar Állami Földtani Intézetben, a mindenkori vezetés kutatási tanácsadójaként működő Kutatói Tanács állásfoglalást fogalmazott meg a magminteraktárak és az ott tárolt magminták állagának megóvása, intézeti kezelésben maradása és korszerű, európai szintű kutatóhelyé alakítása érdekében. Részben ezen állásfoglalás, részben az MBFH–MÁFI közös költségvetési tervezhetőségének érdekében, 2011 első félévében elvégzett előzetes teljes állapotfelmérés megerősítette, hogy minden egyes minta egyedi értéként kezelendő és feltétlenül védendő. A felmérés alapján jelenleg 450 000 m fúrómagminta található a raktárakban,

amelyeknek egy része állapotuk vagy adathiány miatt biztosan selejtezendő (MAROS 2011). Fontos eredmény a magmintaraktárakban tárolt fúrások folyamatos adatbázissá fejlesztése és ezek pontos, koordináták alapján történő térképi megjelenítése, amely a korszerű és gyors keresés alapfeltétele.

A magmintaraktárak további sorsa, mint minden korban, most is az anyagi lehetőségeken és az intézet szakmai irányvonalán múlik. Az intézet Földtani Kutatási osztálya a felmérés alapján megfogalmazta a továbblépés szakmai feltételeit és lehetőségeit (MAROS 2011).

### Konklúzió

A fúrási magminták gyűjteményének 142 éves történetét tanulmányozva világossá vált, hogy a gyűjtemény helyzete a mindenkorin intézeti vezetés tudománypolitikájától és az ezáltal meghatározott kutatási stratégiáktól és irányvonalaktól függött. Ez a történelmi tapasztalat szerint ma is így van. Kérdés, hogy felismerjük-e ennek jelentőségét és megtartjuk-e ezt az örökséget, vagy a világháború utáni állapotokhoz hasonló zűrzavart hagyunk magunk után?

A múlt történéseit vizsgálva kitűnik az is, hogy az értékeket megbecsülők, azokra építkező stratégiáknak és megoldásoknak van valódi, értelmes célja. Jól igazolja ezt a napjaink földtani kutatási munkáit is megalapozó magminták gyűjteményének története, amelyből kiolvasható, hogy a gyűjtemény két világháborút, politikai rendszerváltásokat, valamint az ideológiai alapon meghatározott kutatási stratégiák következményeit, sőt, a súlyos pénztelenséget is túlélve szolgálta és szolgálja a MÁFI tudományosan igazolható, gyakorlati értékű kutatásait és azok eredményeit. Megállapítható tény, hogy egyedül az ifj. Lóczy-féle, múlt-

ban gyökerező, a tudományos kutatásokat előtérbe helyező és segítségükkel gyakorlati problémákat rugalmasan megoldó irányvonal képes megőrizni a múlt tudományos eredményeinek értékes, kézzelfogható adatait. Annál is inkább, mivel tapasztalati tény, hogy a megőrzött adatok jövőbeli eredmények kiindulópontjai is lehetnek. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint a gyűjtemény 1920 és 1944 közötti sorsa, amikor az első világháború pusztító évei után az ifj. Lóczy Lajos által képviselt irányvonal képes volt ismét erőssé és gyarapodóvá tenni az intézetet, és amelyet csak a második világháború utáni zűrzavaros ideológiai helyzet tudott alapjaiban aláásni.

Jelen összefoglalás tapasztalataiból megállapítható, hogy a magminták gyűjteményének rendezése és fenntartása alapvetően anyagi kérdés, de mint különleges „tudományos indikátor” a magminták gyűjteményének helyzete az intézet mindenkorin tudományos tevékenységének és kutatási stratégiáinak kitűnő állapotjelzője is. A kezdetektől fennálló, mindig, minden korban neves szakemberek által felbecsülhetetlen értékűnek tartott Országos Magminta Gyűjtemény helyzetének és állapotának rendezése ma Semsey Andorhoz hasonló önzetlen mecénásra vár, aki bölcs belátással bír a jövőre tekintve abban, hogy a tudományos kutatás fenntartása, valamint a magminták megővése és tárolóhelyük európai szintű kutatóbázissá fejlesztése az intézet és a teljes magyar földtudomány közös érdeke.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki Selmeczi Ildikónak és mindazon munkatársaimnak, akik tanácsaikkal és munkájukkal segítettek ennek a nagy időtávlatot átfogó tanulmánynak a létrejöttét. Külön köszönöm Hála József lelkiismeretes lektori munkáját és építő javaslatait.

### Irodalom — References

- BÖCKH J. 1887: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1886-ról*, pp. 5–38.
- BÖCKH J. 1888: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1887-ről*, pp. 5–23.
- BÖCKH J. 1889: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1888-ról*, pp. 5–29.
- BÖCKH J. 1890: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1889-ről*, pp. 5–24.
- BÖCKH J. 1892: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1891-ről*, pp. 5–31.
- BÖCKH J. 1896: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1895-ről*, pp. 5–26.
- BÖCKH J. & SZONTAGH T. 1900: A Magyar Királyi Földtani Intézet. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet alkalmi kiadványa*, Darányi Ignác földmivelésügyi magyar királyi miniszter megbízásából p. 66.
- BÖCKH J. 1901: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1899-ről*, pp. 5–25.
- BÖCKH J. 1902: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1900-ról*, pp. 5–34.
- BÖCKH J. 1903: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1901-ről*, pp. 5–37.
- BÖCKH J. 1904: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1902-ről*, pp. 5–38.
- BÖCKH J. 1907: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1906-ról*, pp. 5–38.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2002: Működési jelentés a Magyar Állami Földtani Intézet 1997. évi tevékenységéről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1997–1998/I–II*, pp. 7–67.
- BREZSNYÁNSZKY K. 2003: Igazgatói beszámoló a Magyar Állami Földtani Intézet 2000. évi tevékenységéről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2000–2001*, pp. 7–27.
- FÜLÖP J. 1964: A Magyar Állami Földtani Intézet 1962. évi működése. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1962. évről*, pp. 3–5.

- FÜLÖP J. 1965: A Földtani és a Geofizikai Intézet együttműködéséről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1963. évről*, pp. 9–11.
- FÜLÖP J. & TASNÁDI KUBACSKA A. (szerk.) 1969: 100 éves a Magyar Állami Földtani Intézet. — *A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa*, 274 p.
- GAÁL G. 1992: Beszámoló az 1991. évről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1991. évről, I. rész*, pp. 15–117.
- GAÁL G. 2000: A Magyar Állami Földtani Intézet működési jelentése az 1994–1995. évről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1994–1995/I–II*, pp. 7–59.
- HÁLA J. (szerk.) 1994: 125 éves a Magyar Állami Földtani Intézet. — *A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa*, 180 p.
- HÁLA J. & MAROS GY. 2000: Art Geo Palota a Stefánián. 100 éves a Földtani Intézet Lechner Ödön által tervezett szecessziós épülete. — *A Magyar Állami Földtani Intézet 198. alkalmi kiadványa a MÁFI alapításának 132. évében*, 102 p.
- HÁMOR G. 1983: A Magyar Állami Földtani Intézet 1981. évi kutatási eredményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1981. évről*.
- HÁMOR G. 1989: A Magyar Állami Földtani Intézet 1987. évi kutatási eredményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1987. évről*, pp. 7–23.
- HÁMOR G. 1992: Igazgatói jelentés az 1989–1990. évről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1990. évről*, pp. 7–31.
- HÁMOR G. 1994: A Magyar Állami Földtani Intézet feladatai, működése és eredményei 1949–1991 között. — In: Hála J. (szerk.): *125 éves a Magyar Állami Földtani Intézet. Tanulmányok*, pp. 21–36.
- KERCSMÁR Zs., BABINSZKI E., BERTALAN É., SZENTPÉTERY I., TÓTH GY., PÉTERDI B. 2011: Jelentés a Magyar Állami Földtani Intézet Országos Magminta Gyűjteményéről és annak igénybevételéről 2006–2010 között. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Földtani Kutatási Osztály, 9 p.
- KORDOS L. 1996: Az Országos Földtani Múzeum tevékenysége. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1993–1993/I*, pp. 108–110.
- LANTOS Z. 2011: Nemzetközi kitekintés. — In: MAROS GY. (szerk.), SZENTPÉTERY I., KERCSMÁR Zs., LANTOS Z., CSEPREGI I., ALBERT G., BABINSZKI E., BERTALAN É., TÓTH GY., PÉTERDI B.: *A kutatások során keletkezett magminta-állomány kezelése. A MÁFI mintaraktárainak felülvizsgálata 2011*. pp. 25–32.
- LÓCZY L. 1912: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1910-ről*, pp. 9–45.
- LÓCZY L. 1916: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1915-ről*, pp. 5–25.
- LÓCZY L. ifj. 1939: Beköszöntő lóczy Lóczy Lajos dr.-tól. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1933–35 évekről*, pp. 1–38.
- MAROS GY. (szerk.), SZENTPÉTERY I., KERCSMÁR Zs., LANTOS Z., CSEPREGI I., ALBERT G., BABINSZKI E., BERTALAN É., TÓTH GY., PÉTERDI B. 2011: A kutatások során keletkezett magminta-állomány kezelése, A MÁFI mintaraktárainak felülvizsgálata 2011. — *Kézirat*, MÁFI-MBFH együttműködés kutatási jelentés, 70 p.
- NÁDOR A. 2009: Működési jelentés. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2007*, pp. 9–45.
- PÁLFY M. 1925: Igazgatósági jelentés 1920–1923. évekről. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1920–1923-ról*, pp. 7–16.
- PÁLFY M. 1928: Igazgatósági jelentés. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1924-ről*, pp. 7–40.
- SZALAI T. 1952a: Igazgatói jelentés az 1948. évről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1948. évről*, pp. 1–8.
- SZALAI T. 1952b: Igazgatói jelentés az Állami Földtani Intézet 1949. évi kutatási munkáiról. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1949. évről*, pp. 3–6.
- SZALAI T. 1953: Igazgatósági jelentés az 1950. évről. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1950. évről*, pp. 3–9.
- SZONTAGH T. 1923: Igazgatósági jelentés 1917–1919. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet jelentései 1917–1919-ről*, pp. 7–12.
- ZALÁNYI B. 1915: Az 1913–14. évben rendezés alá került mélyfúrások kőzetanyagának feldolgozásáról és törzskönyvezéséről. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1914-ről I*, pp. 501–509.
- ZALÁNYI B. 1917: Jelentés az 1916. évben rendezés alá került mélyfúrások kőzetanyagának feldolgozásáról és törzskönyvezéséről. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1916-ről I*, pp. 627–631.

## Hazai földtani térképeink topográfiai alapjai

### *Topographic backgrounds of geological maps in Hungary*

PENTELENYI ANTAL, SÍKHEGYI FERENC

Magyar Állami Földtani Intézet H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

Tárgyszavak: földtani térkép, topográfiai térkép, Magyarország

#### Kivonat

A Földtani Intézet 140 éves története alatt mit sem változott egyik fő alaptevékenysége, „az ország területének rendszeres és átfogó földtani térképezése; a térképek és azok szöveges magyarázatának készítése, közreadása” ([http://www.mafi.hu/microsites/kozerdeku/alapokm\\_2008\\_3.pdf](http://www.mafi.hu/microsites/kozerdeku/alapokm_2008_3.pdf)).

A földtannak, mint tudománynak már a kialakulásától érvényes alapelve, hogy; a földtani képződmények legadekvátabb ábrázolási formája a földtani térkép. Az intézet 140 éves történetéhez kapcsolt térképkiállítás a hagyományos, papír alapú térképkiadás korszakának szimbolikus lezárása, egyben az új, térinformatikai alapú térképszerkesztés és elektronikus szolgáltatások korszakának kezdete. A földtani térképek topográfiai alapjaival, vetületeivel és szelvényezéseivel általában keveset foglalkoznak, különösen ahhoz képest, hogy a meglévő papíralapú térképek információinak teljes körű értelmezése és kinyerése, a digitalizálás és geokódolás nehezen valósítható meg ezek tudása nélkül. Ez a cikk a hazai földtani térképek topográfiai alapjait veszi számba időrendi sorrendben, mielőtt ezek az ismeretek a jelen- és utókor kutatói számára már csak nehezen előbányászható tudománytörténeti érdekességgé válnának.

Keyword s: geological map, topographic base map, Hungary

#### Abstract

In its 140 year history the Geological Institute of Hungary has made seemingly no change to its fundamental business of “the systematic and comprehensive geological mapping of the country’s territory, along with the making and publication of maps and corresponding texts”.

Since its beginning, the basic representational form of geology is the geological map. The exhibition related to the Institute’s 140 year anniversary is partially a symbolic closure of an era, the time of traditional paper based distribution of maps. However, it is also the beginning of the new era of computerized mapping, editing and electronic services. Not much attention is given to a map’s topographic basics and to its projection, but its digitalization and geo-coding can hardly be accomplished without their knowledge. This article discusses the geological maps of Hungarian topographic bases in chronological order in hopes of preserving them for present and future generations of researchers before they become obsolete novelties.

#### Bevezetés

A térképkészítés rendszeressége és átfogó volta két alapkövetelményt mindenképpen feltételül szab: egységes földtani jelkulcsot, és a térképezés részletességét meghatározó egységes topográfiai alapot.

A földtani kutatás menetében bizonyos ciklikusság mutatható ki, ami általánosságban a deduktív és induktív

szakaszok periodikus váltakozásából áll. Azaz az egyre részletesebb, nagyobb felbontású kutatási periódusokat általánosító, összefoglaló szakaszok zárják le. Ha nem is tökéletesen ritmikus a váltakozás, a térképezési folyamatokban mégis felismerhető. Egyfelől a méretarányok nagyobbak lesznek, a rétegtani, faciológiai, időbeli felbontás — a tudományos eredmények átvételében megmutatkozva — egyre finomabbá válik, és a logikai kategóriák

terjedelme (pl. a jelkulcsokban) egyre szűkebb lesz. Jól felismerhető ez a folyamat a nyersanyagkutatás egymásra épülő kutatási fázisaiban is. Másfelől a részletező kutatások eredményeiből bizonyos időszakokban összegző, szintetizáló, ezzel összhangban kisebb méretarányú, régiókat, esetleg teljes országokat, kontinenseket átfogó földtudományi térképek születnek. Mindkét kutatási megközelítési módszer megköveteli a megfelelő pontosságú és részletességű topográfiai térképi alapot. A földtudományi térképek elválaszthatatlanul támaszkodnak a topográfiai alaptérképekre; egyik legfontosabb felhasználói, így a földtani térképezési programok és eredményeiknek térképi megjelenítése szorosan kötődik a topográfiai alapok meglétéhez, történetéhez.

Az alábbiakban a földtani felvételekhez és a térképek összeállításához használt hazai topográfiai térképeket tekintjük át. Meglétiük, részletességük, minőségük és általában a sorsuk nagymértékben meghatározza a rendszeres felvételek szervezését, a terepi munkálatokat, a kéziratok szerkesztését és a térképkiadások sorsát is.

Egy topográfiai térképrendszer teljesen új, „üres papírról” indított előállítására esetében új felmérésről, új felvételről beszélünk. Egy ilyen, több évtizedig tartó munka a vetületi alapok, koordináta-rendszerek, jelkulcsok, háromszögelési és szintezési hálózatok kifejlesztésével, sűrítésével kezdődik, majd a kidolgozott műszaki szabályzatok egységes szemléletű követése szerint zajlik. Egy felmérésen belül is természetes, hogy bizonyos alapelvekben, de különösen a terepen jelentős változások következhetnek be a hosszú elkészülési idő miatt. A terepi változásoknak a folyamatos átvezetése és az újabb kiadású térképeken véghezvitt megjelenítése a helyesbítés folyamatában valósul meg. Ha ez a helyesbítés együtt jár az alapanyagok más vetületű, más szelvénybeosztású, más jelkulcsot használó, esetleg más terepi és ábrázolási módszerek bevezető feldolgozásával, akkor felújításról beszélhetünk (NAGY 1986).

Hazánkban eddig összesen hat új topográfiai felmérés zajlott le. Az első három ezek közül már az első világháború előtt lezárult, és a történelmi Magyarország területére terjedt ki. Az újabb felmérések a második világháborút követően történtek meg, amik azonban csak a jelen országhatárig, illetve a magyarországi töredéklapok szelvényhatáráig tartanak.

Az első három felmérés a 19. század vége előtt befejeződött. Ez volt az ún. első, második és harmadik katonai felmérés végrehajtásának ideje. A nevük mutatja, hogy kezdeményezésüknek elsősorban katonai indítékai voltak: a harci cselekmények tervezéséhez és a csapatok mozgásához, stratégiai döntésekhez szolgáltatott nélkülözhetetlen adatokat. A török elleni évszázados harcok szinterei ugyan dél felé tolódtak el, de a 18. és 19. század egyáltalán nem volt békésnek mondható az Osztrák Császárságban, illetve az Osztrák–Magyar Monarchia és tágabb környezetében.

A második világháborút követő mintegy hatvan év alatt további három új felmérést különböztetnek meg hazánk területén. Az 1953–1959 közötti 1:25 000-es újfelmérés, valamint az 1952–1980 közötti 1:10 000-es felmérés lezárulta

után 2005-ben kezdődött meg a hatodik, jelenleg is folyó ún. VTopo 1:25 000-es újfelmérés az 1997-ben elfogadott Magyar Topográfiai Program keretében (ALABÉR et al. 2008).

Ide kívánkozik megemlíteni az első, földtani tárgyú térképek lehetséges topográfiai alapjait. A teljes országra kiterjedő térképek közül W. TOWNSON térképe a jól ismert KORABINSZKY M. térképet használja fel, S. STASZIC térképi hátterének meghatározása további kutatásokat igényel. F. S. BEUDANT 1822-es térképe már több forrásból is meríthetett. Így a több kiadást megért Görög-féle, megyénként szerkesztett atlaszból, ami megfelelő pontossággal ábrázolta a megyéket, s alkalmas volt pontosított országtérképek össze-szerkesztéséhez. Magyarországot megyénként bemutató zsebtáblás szintén forrása lehetett a részletesebb bejárásoknak vagy földtani adatok rögzítésének. LIPSZKY J. 1806-os, vagy KARACS F. 1813-as országtérképe szintén elérhető volt forrásként. A Beudant-térkép és a mellékelt részlet-térképek a Balaton és Selmecbánya vidékéről térképészeti szempontból is nevezetesek. Ismereteink szerint ezek voltak a hazánk területéről elkészült első, méter alapú térképek, mintegy 40-50 évvel a hazai metrikus rendszer bevezetése előtt.

A részlettérképek mennyisége a 18. század kezdetétől, a törökök délre szorítását lezáró karlócai békével jelentősen megszaporodott. A közigazgatás, a postai szolgáltatások, az oktatás megszervezése mellett a fellendülő ipar és bányászat is megkövetelte a korábbinál pontosabb térképek készítését. A vízrendezések, a birtokviszonyok térképi rögzítése, az adószedés kataszteri térképekkel megtámogatott taláékonny módszerei, az erdőművelés és a bányászat mind-mind alapul szolgálhattak a tematikus tartalmak topográfiai alapjául még akkor is, ha rendkívül heterogének voltak méretarány, pontosság, jelkulcs stb. tekintetében. (JOÓ, RAUM et al. 1990–1993). A selmeci bányászati akadémia és a budai Intitutum Geometricum számos, jól képzett, a földmérésben és térképkészítésben járatos szakembert bocsátott ki falai közül, biztosítva a felmérésekhez szükséges szakembereket a vármegyei rendszer minden szintjén.

### **Felvételek és topográfiai térképrendszerek az első világháború lezárásáig**

A világháború lezárulása a topográfiai térképezésben és a földtanban egyaránt egy jelentős korszak lezárását jelentette. Mindkettőnél magába foglalta a tudományterületek kialakulásának, módszereinek, szakmai szemléletüknek a kialakulását, és azokat a történelmi viszonyokat, amik a császárság és a monarchia 18. század végi és a 19. századi alakulását jellemezték.

#### *Az első katonai felvétel*

A felmérés 1763 és 1787 között folyt le országonként és tartományonként. A Temesi Bánság és az Erdélyi Nagyjefejelemtség felmérésére 1769 és 1773 között került sor

(IRMÉDI-MOLNÁR 1958), a Magyar Királyságra 1782–1785 között. A térképfelhasználást azóta kísértő titkosítási rendelkezések már ekkor megjelentek. A rendszerváltásig fennálló, a térképhasználók életét megkeserítő titkolódzás tehát már kétszáz évvel korábbra visszavezethető, bár az indokok koronként nagyon eltérőek lehetnek.

A térképek egy eredeti és egy másolati példányban készültek csupán el és titkosságukat csak az első világháborút lezáró békeszerződések során oldották fel annak ellenére, hogy a két újabb felmérés is évtizedek óta elkészült. Ismereteink szerint a 1:28 800-as méretarányú szelvények az eredeti méretben soha sem jelentek meg nyomtatott formában.

Különböző, elsősorban 15%-ra, 1:192 000-esre lekicsinyített és egyberajzolt, a teljes országot összességükben lefedő általános térképek (ún. General-Karte) kéziratban ugyan készültek, köztük a legnevesebb Neu-térkép három példányban is, de hozzáférhetetlenek voltak a polgári életben. Földtani vonzatuk ezeknek tehát nem volt. Közigazgatási célzatú, ún. kéziratok szigettérkép másolatok is ismeretek a magyarországi kerületekről (több vármegye összevonásával), ezek esetleges geognosztikai-geológiai vagy bányászati felhasználásáról az adatok már teljesen a ködös múltba vesznek.

Egyetlen nyomtatott, levezetett térkép ismert, ami igazolhatóan a felvételekre támaszkodik. Ez az 1:864 000 méretarányú, a teljes Habsburg Birodalmat ábrázoló Fallon-

térkép 1822-ből (JANKÓ A. 2005, p. 51). Az eredeti felvételi lapok 1/30-adra kicsinyítésével állították össze FALLON L. (1822). A ezredes irányításával. A részletek összehasonlítása (1. ábra) szerint a térkép egyszerűsített változata volt az alapja az első, a teljes Osztrák Birodalmat ábrázoló földtani térképnek, W. HAIDINGER 1847 munkájának.

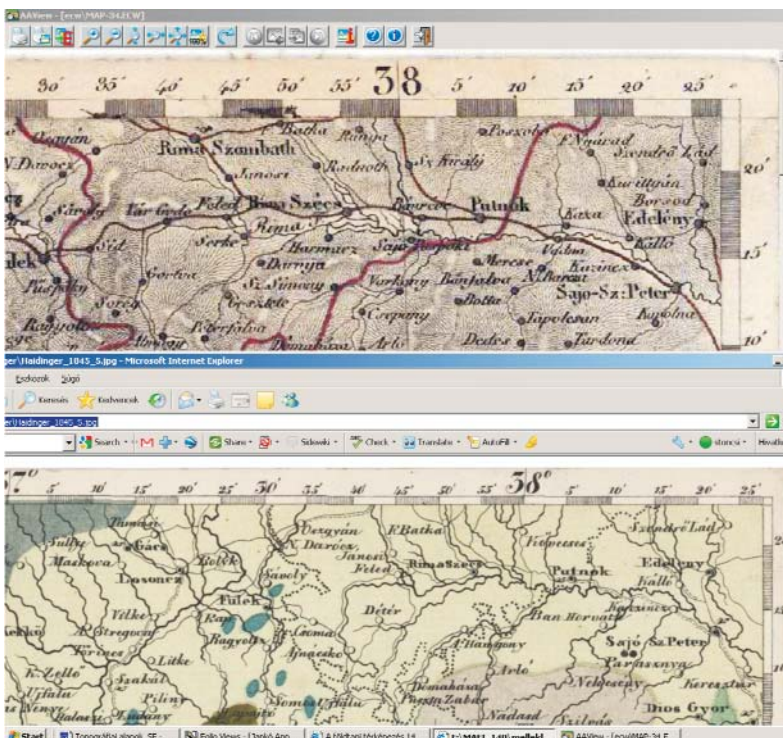
### A második katonai felvétel

Az első felmérés hiányosságai szinte a térképek elkészültével kiütöztek, és egy újabb felvétel igénye hamarosan felmerült. Az indokok között katonai és szakmai, geodéziai és egyéb térképészeti szempontok egyaránt szerepeltek. A napóleoni fenyegetés elleni katonai tervezés részletes térképei még átnézetes méretarányokban is csupán kéziratokban voltak, hiányoztak a nyomtatott alapanyagok a hadsereg számára. Szakmai oldalról tekintve a birodalom egyes részei egymástól eltérő részletfelmérések halmazából álltak, amikhez a jól megalapozott geodéziai és vetületi alapok egyaránt hiányoztak. Az új felmérés I. Ferenc császár rendeletére 1806-ban kezdődött el, és megszakításokkal 1869-ig tartott.

Méretaránya ennek is 1:28 800 volt, az eredeti felvételi lapokat és a róla készült egyetlen másolatot ebben az esetben is titkosan kezelték. A térképek vetületi rendszere az ún. Cassini-féle négyzetes hengervetület volt, aminek kezdő meridiánja a bécsi Stephankirche tornyán átmenő délkör volt, s egyben a szelvényháló bécsi szelvényének középpontja (Stephansturm pont). Ehhez illesztették a „birodalmi” szelvényhálót. Az egyes egybevágó téglalapok 24"×16" méretűek, ami méterrendszerben 18,2×12,1 km-nek felel meg. A szelvényháló Innsbrucktól a Magyar Királyság keleti végéig tartott (a felmérés kezdetekor Erdély nem tartozott bele). A háló oszlopait római számokkal jelölték, a kezdőmeridiántól keletre O. rövidítéssel különítve el a tőle nyugatra lévő W. előjelű oszlopoktól. A szélességi körökkel párhuzamos szelvénykeret határokat kb. Varsó magasságától kezdték meg számozni, lefelé növekvő arab számokkal. Az egyes szelvények jelölése soroszlop formában történt; Bécs lapjának jele pl. Section 44. Column XXI. volt.

A Magyar Királyság felmérése, ami magába foglalta a Temesi Bánságot és a déli Határörvidéket, igen hosszú ideig tartott: 1819–1869 között zajlott. A fenti részek szelvényei a XIX–LVII oszlopok közé és a 31–77 sorokra estek, összesen 112 térképlapra.

Világos volt ugyanakkor az, hogy a birodalom közigazgatása és a rohamos fejlődésnek indult különböző szaktudományok igényelték a megfelelő



1. ábra. Az ún. Fallon-térkép (1822) és W. Haidinger szelvényének ÉK-i sarkai. A fókuszát és a sarokpont azonos, a földtani térkép topográfiai tartalma egyszerűsített (domborzat nélküli)

Figure 1. NE corners of the "Fallon map" (1822), and the 5th sheet of W. Haidinger 1847. Grid lines and the corners are in coincidence, topographic base of the geological map is reduced

topográfiai alapokat, ezért eleve úgy tervezték a teljes felmérést, hogy legalább a kisebb, levezetett méretarányú térképlapokat egységes méretarányrendszerben, rézmet-sztként sokszorosítva közreadják.

Három, egymásra épülő térképművet készítettek a kéziratokból:

— részletes térképek (*Spezialkarten*) 1:144 000-es méretarányban, 3×3 db felvételi lap összevonásával és 1/5-ös kicsinyítéssel;

— általános, közigazgatási térképek (*Administrativ- und General-Karten*) 1:288 000-es méretarányban;

— áttekintő térképek (*General-Karten*) 1:576 000-es méretarányban.

Miért kell részletesebben utalni a II. katonai felvételi felvételi lapjaira, ha azok titkosak voltak? És a kiadott térképek 1:144 000-es méretaránya a terepi felvételekre alkalmatlanul kicsi, a párhuzamosan zajló, majd egy évszázadot felölelő kataszteri felvételeké pedig kezelhetetlenül nagy? Ez azzal magyarázható, hogy a geológia mégis tudott egy kis rést nyitni a titkosság zárt falán. A birodalom nyersanyag-igényei rohamosan növekedtek. Az ipari forradalom, a városiasodás, de az egész évszázadot jellemző parttalan háborúskodás egyaránt tudományosan megalapozott földtani kutatásokat követelt meg a minél gazdaságosabb és több nyersanyag biztosítása érdekében. E cél megvalósítására jött létre a bécsi Geologisches Reichsanstalt, a birodalmi földtani intézet 1849-ben, aminek kihangsúlyozott célja volt a teljes birodalom egységes és rendszeres földtani vizsgálata. Munkálatainak zavartalanra tétele érdekében az intézet vezetése engedélyt kapott, hogy az eredeti, kéziratok lapokról egyszerűsített topográfiai vázlatot készítsen terepi felvételeihez. Ez a vékony, átlátszó papírra készített vázrajz tartalmazta a településeket, templomokat, jelentősebb utakat, kereszteket, magassági pontokat, amik lehetőséget adtak az 1:28 800-as földtani felvételi lapok elkészítésére. A kiadásukra azonban nem.

A felső-magyarországi felvételeket — nyilván a nyersanyagbányászat miatt — még a bécsi földtani intézet elvégezte. A Dunántúlra eső szelvények felvételét azonban már az 1869-ben megalakított Magyar Királyi Földtani Intézet folytatta (VITÁLIS 1994).

Az eredeti, 1:28 800-as földtani szelvények sohasem lettek kinyomtatva. Átnézetes, összevont publikálásukra pedig mindaddig várni kellett, amíg meg nem kezdődött a Magyar Királyság részletes térképeinek kiadása.

A fentiekben már megemlített részletes térképek a titkos szelvények egyötödös kicsinyítésével, 3×3 lapnak az összevonásával készültek el. A *Spezialkarte des Königreiches Ungarn* (A Magyar Királyság részletes térképe 1869–1881 — Militärgeographisches Institut, Wien) összesen 141 lapot és egy önálló Jelkulcsot tartalmaz. Kiadásuk tehát mintegy 12 évvel később zárult le, mint maga a felvétel.

A lapok szelvénybeosztása teljesen eltér a „birodalmi” szelvényezésétől. A sorok tekintetében az eredeti szelvényezés első három, már Magyarország északi szegélyét magába foglaló 31, 32 és 33. sorok kapták az *I. sor* számozását, a XVII, XVIII és XIX. oszlop pedig a *B oszlop-*

számot. Az egyes szelvények oszlop–sor kombinációjában készültek és a szelvényen található legnagyobb település nevével kapták. Nagyszalonta, Gyula, Békés, Sarkad és Vésztő térsége pl. K.9. Umgebungen von Gyula und Békés címen jelent meg, Budapest és környéke pedig G.7. *Umgebungen von Ofen und Pest*. A lapok kiadása mindenkor a bécsi *K. k. Militärgeographisches Institut*, a bécsi Katonaföldrajzi Intézet hatáskörébe tartozott. Az egyes lapok nyomatai igen finoman vésett rézlemezekről készültek, a külső kereten a kiadás évén és a lap árán kívül megjelent a földrajzi fókuszhatár. A hálózat kezdőmeridiánja Ferro. Ez a fókuszhatár azonban sehohol sem esik egybe a szelvényhatárokkal: a szelvényhatárokat hengervetületi hosszakkal határozták meg Bécs (Stephansturm) középponttól kiindulva.

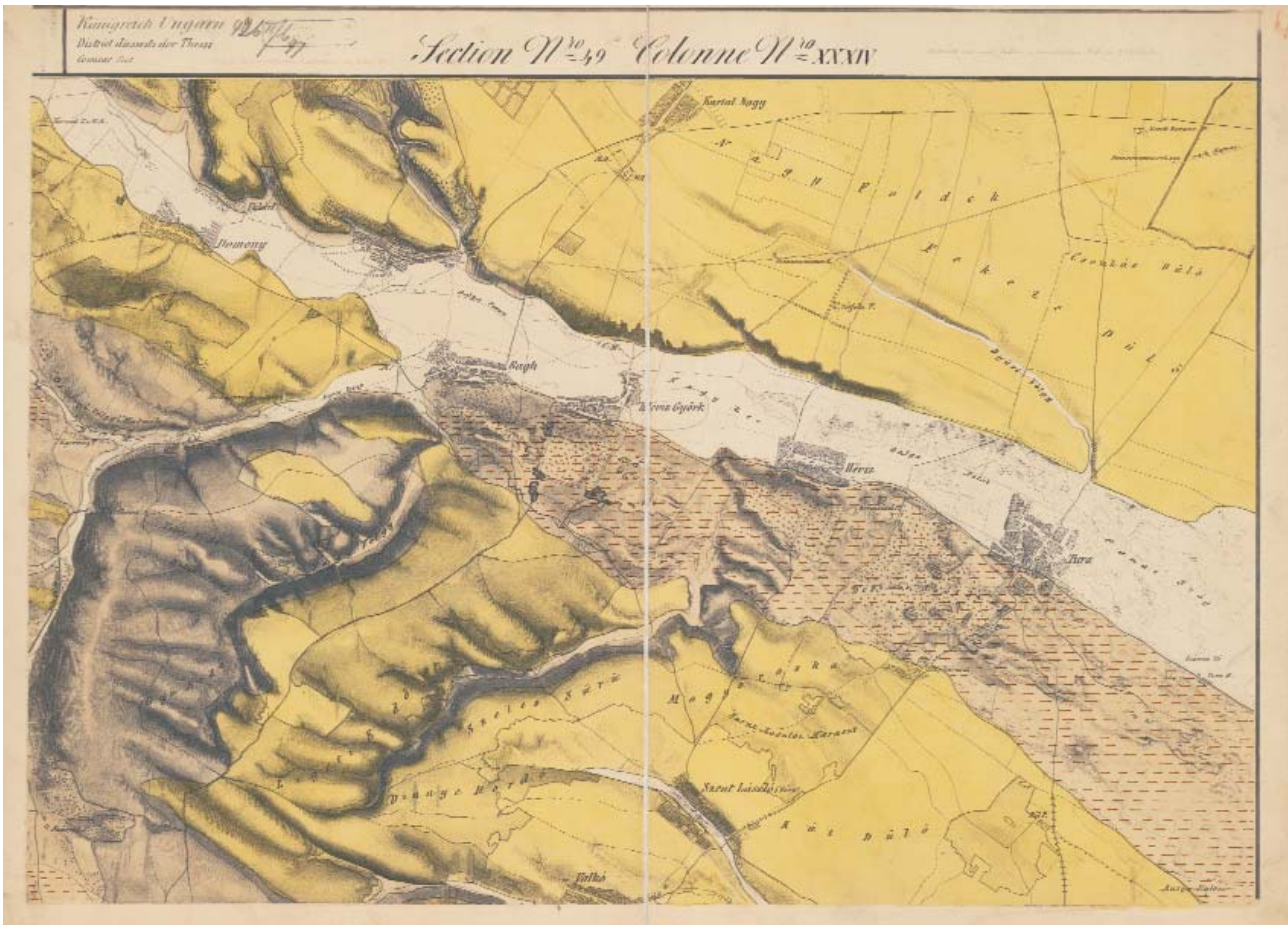
Az 1869-ben lezárult II. felvételi hiányosságai már a kivitelezés során kiütköztek, így a lezárás után — mintegy menetből — megkezdődtek a III. katonai felvétel előkészítési és terepi munkái. De a földtani térképezésben csak az 1880-as évek elejétől kezdtek elérhetővé válni. Annyi hatásuk azonban a II. katonai felvétel titkosságára mindenképpen volt, hogy a korábbi szigorú feltételeket részben megenyhítették. Lehetővé vált, hogy az eredeti 1:28 800-as kéziratokról egyszínű fotómásolatok készüljenek, és a terepi felvételek végzése, a kéziratok felvételi lapok szerkesztése e másolatokon folyjon. A MÁFI térképtárában számos Budapest környéki (2. ábra), DK-magyarországi és két baranyai lap napjainkig megőrződött. A végül elfogadott, és kiadott 1:144 000-es földtani térképek [Magyar Királyi Földtani Intézet 1911] mellett Térképtárunk számos 1:28 800-as kéziratot, és részben vagy teljesen leszerkesztett kéziratot 1:144 000-es munkarészt őriz. Ez mutatja, hogy a térképezés munkaszervezése több lépcsőben folyt egyidejűleg.

Az 1880-as évek közepére olyan mértékben haladt előre az újabb topográfiai szelvények felvétele és kiadása, hogy a II. katonai felvétel lapjai teljesen kiszorultak a földtani felvételezésből és a kiadásból. Így a Dunántúl felvétele után a 144 ezres térképek kiadása megszakadt.

A sokszorosításnak igen sajátos formája alakult ki. A kinyomtatott topográfiai térképet fekete színnel felülnyomták, ami a jelkulcsot és a képződmények jelkulcsi számát ábrázolta magán a térképen. A képződményhatárokat ceruzával, esetleg tussal másolták rá az alapra, és kézzel színezték ki. Az ilyen módszerrel elkészített lapokat az 1920-as évek elejéig forgalmazták

Paradox módon a kisebb méretarányú topográfiai térképek kiadása megelőzte a részletes térképekét. Ennek nyilvánvaló okai voltak. A közigazgatás és a szaktudományok igényei nem tették lehetővé, hogy a teljes felmérés lezárását és kiadását kivárják. Mintegy fordított sorrendben következtek a generalizált, a feles és a negyedés kicsinyítésű kiadások. Először az 1:576 000-es (negyedés) térkép jelent meg *General-Karte des Oesterreichischen Kaiserstaates* (Az Osztrák Császárság általános térképe 1856 — Militärgeographisches Institut, Wien) címmel. Méretarányazonosságuk ellenére W. HAUER 1867 földtani térképe azonban más, korábban kiadott topográfiai alapra készült.





2. ábra. A II. katonai felvétel másolatára készített földtani térkép kézírata. MÁFI Térképtár

Figure 2. Manuscript of a geological map on a copied sheet of the II. military survey. Archive of the Geological Institute of Hungary

A feles kicsinyítésű *Administrativ- und General-Karte des Königreiches Ungarn* (A Magyar Királyság közigazgatási és általános térképe 1:288 000, 1858 — Militärgeographisches Institut, Wien) tudomásunk szerint földtani tartalommal sohasem jelent meg.

### A harmadik katonai felvétel

A II. katonai felvétel időben rendkívül elhúzódott; mintegy hatvan évet fogott át és többszörösen kiütköztek hátrányai. A rohamos léptekkel fejlődő vetülettan és a geodéziai tudományok, a műszerek tökéletesedése, a nyomdaiparban bekövetkező változások ugyanúgy hatottak, mint a metrikus rendszer általánossá válása, és természetesen a katonai doktrínákban, vezetési stratégiákban, a katonai-műszaki technikai fejlődésben bekövetkezett mély változások. Ez az újonnan javasolt felvétel követelményként állította maga elé, hogy a monarchia és csatolt részeire valóban egységes geodéziai alapokon nyugvó, azonos elvű, de a korábbiaknál részletesebb térképeket produkáljon.

Ezért közvetlenül a II. felvétel lezárásának évében, 1869-ben nekiláttak az új alapokon nyugvó felvétel tervezésének és a biztos geodéziai alapokat nyújtó háromszögelési és magassági hálózatok kifejlesztésének. Ez azonban nem jelentette azt, hogy a II. felvétel munkái teljesen

lezárultak volna. A fentiekben említett részletes térképek (Spezialkarte) kiadása így a Magyar Királyságé is 1881-ig folytatódott és ekkor fejeződött be.

A teljes felmérés 1869-től 1887-ig tartott. Ebből a Magyar Királyság, a Horvát–Szlavón Királyság és Fiume felmérése 1869–1885 között folyt. A felmérést vezető és végrehajtó szervezet ebben az esetben is a bécsi székhelyű, a kiegyezést követően kissé megváltozott nevű k.u.k. Militärgeographisches Institut volt.

A térképek felvételében és kiadásában a legfeltűnőbb változást a méter alapú méretarányok megjelenése jelentette. A terepi felvétel 1:25 000-es volt, amiből három levezetett térképet állítottak elő:

- részletes térképek (*Spezialkarten*) 1:75 000-es méretarányban, azaz 1/3-os kicsinyítésben;
- általános térképek (*Generalkarten*) 1:200 000-es méretarányban;
- áttekintő térképek (*Übersichtskarten*) 1:750 000-es méretarányban.

További, minden felhasználó számára szembeötlő módon bevezetett változást jelentett a szelvényezés földrajzi koordináták szerinti meghatározása. Bessel-ellipszoidra illesztett poliéder vetületet alkalmaztak, ahol az egyes önálló poliéderek 15'×30' nagyságú területet fedtek le, amit 1:75 000-es méretarányban ábrázoltak. A kezdőmeridián

ebben az esetben is Ferro volt és az egyes oszlopokat 30'-ként tagolták, az egyes öveket pedig az Egyenlítőtől 15'-ként húzták meg. Egy ilyen poliédert a felezők mentén összekötve négy, eltérő méretű térnegyedet kaptak, amik az egyes 1:25 000-es felvételi lapok területét adták ki.

Az egyes poliédereket — hasonlóan a korábbi felméréshez — a teljes monarchiára kiterjedően a Sor (Zone) és a Rovat/oszlop (Colonne) számának megadásával jelölték. A káosz növeléséhez az is hozzájárult, hogy az oszlopokat szintén római, a sorokat arab számokkal adták meg. A teljes keveredés elkerülésére előbb a sornak az arab számát, majd utána az oszlop római számát adták meg. Az 1:25 000-es továbbosztáshoz az 1:75 000-es poliéder szelvényt ÉNy-i (NW), ÉK-i (NO), DK-i (SO) és DNy-i (SW) szelvényegyedekre (Blatt) tagolták.

Az 1:25 000-es lapok egy színezett, kéziratos példányban készültek el. A részletes terepi munkákhoz, köztük a földtani felvételekhez is, már készítettek kis példányszámú, egyszínű, fényképezési úton készült másolatokat (*Photographischen Kopien*). Domborzatábrázolásuk szintvonallal kombinált csíkozás volt, tehát a szintkülönbségeket egyes pontok kótás megírásán kívül is ki lehetett olvasni. Ez a mérhető domborzatábrázolás fokozatosan oda vezetett, hogy a földtani tárgyú térképekből és jelentésekből lassacskán elmaradtak a korábban közölt barometrikus magasságmérési adatok.

1887-től megkezdődött az 1:200 000-es, ún. foktérképek (*Generalkarten*) kiadása. Az egyes szelvénylapok É–D és K–Ny-i lapközépen húzódtak az egész számú fokértékek, a Ferro kezdőmeridiántól számolva. Földtani térképezéshez a síkvidékeken használták a két világháború közötti időkben, a sokadik helyesbítések utáni kiadások felhasználásával.

A korabeli földtani szakirodalomban gyakran jelennek meg együttesen a II. és III. felvétel topográfiai szelvényei. A jobb elkülöníthetőség érdekében a sorokat és oszlopokat tört alakban adták meg úgy, hogy a II. felvétel szelvényeinél a sor (a római szám), a III. felvétel lapjainál fordítva, az oszlop (római szám) áll a nevezőben.

Az 1:75 000-es földtani térképek kiadása az azonos méretarányú alapokon folyt a bécsi k.u.k. Militärgeographisches Institut-ban, ahol a saját kiadású topográfiai térképeket földtani foltokkal és jelmagyarázattal látták el. Összességében 34 szelvényt nyomtattak ki (A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1920–1923). Területi megoszlás szerint Erdély területére, az ÉK-i Kárpátokra és a déli határszélekre koncentráltak. Ahogy a határok menti topográfiai térképek a teljes szelvényeket ábrázolták, úgy az ezek felhasználásával készített geológiai térképeket a teljes lapokra megszerkesztették. Kárpátok északi gerincén húzódó vízválasztó mentéről további 44 lap megőrződött intézetünkben (3. ábra), igaz, ezek kéziratban maradtak meg. További öt lapról nyomtatott agrogeológiai térképeket adták ki (VITÁLIS 1994).

A megfeszített munkák ellenére az I. világháború végéig mégis jelentős területek maradtak ki a rendszeres geológiai felvételtől. Elsősorban a déli és északkeleti kárpáti régiók és az alföldi területek maradtak el, bár ez utóbbi részeken

agrogeológiai térképezések azért zajlottak. Számos tájon a hiányzó rendszeres felvételek ellenére vagy kiegészítésére régiótérképek készültek. Méretarányaik alapján a legtöbb esetben sejthető a katonai felvételtől levezetett topográfiai alap, azonban ezek általában nélkülözik a szelvényezést, az egységesnek tekinthető jelkulcsot és külső megjelenést. (pl. HANTKEN 1871, HEBRICH 1878, SZABÓ 1878).

A ciklikusan ismétlődő, a teljes ország földtanát ábrázoló áttekintő földtani térképek topográfiai alapjai általában nem a katonai térképek levezetéséből származnak. Erre a XIX. század folyamán folyamatosan javított, helyesbített, polgári célú és tematikus térképek adtak lehetőséget LIPSZKY J. előbbieken említett térképétől kezdve. A számos közigazgatási és tematikus, elsősorban közigazgatási és postatérkép készítése több forrás igénybevételét tette lehetővé.

Az első, hazai munkával megszerkesztett áttekintő térkép a nemzetközi együttműködésben tervezett európai földtani térkép bécsi lapjának hazánk területére vonatkozó része volt. A 4. ábrán bemutatott kéziratos, 1886-ban szerkesztett földtani térkép (BÖCKH et al. 1886) alapja HÁTSEK I. német nyelvű térképe volt. Az 1896-ban, a milennium évében publikált, 1:1 000 000 méretarányú térképhez már külön erre a célra nyomtatott topográfiai alap készült.

A millenniumi évtizedek a fejlődő, fellendülő, az ország teljesítményére büszke közhangulatot tükröznek vissza. Számos témát a legvilágosabb áttekintést nyújtó ország-térképek segítségével mutattak be. Ezek között több szintetizáló földtani tematikus térkép is megtalálható; topográfiai alapjaik és külső megformálásuk általában eltérő méretarányú és egyedi megjelenésű.

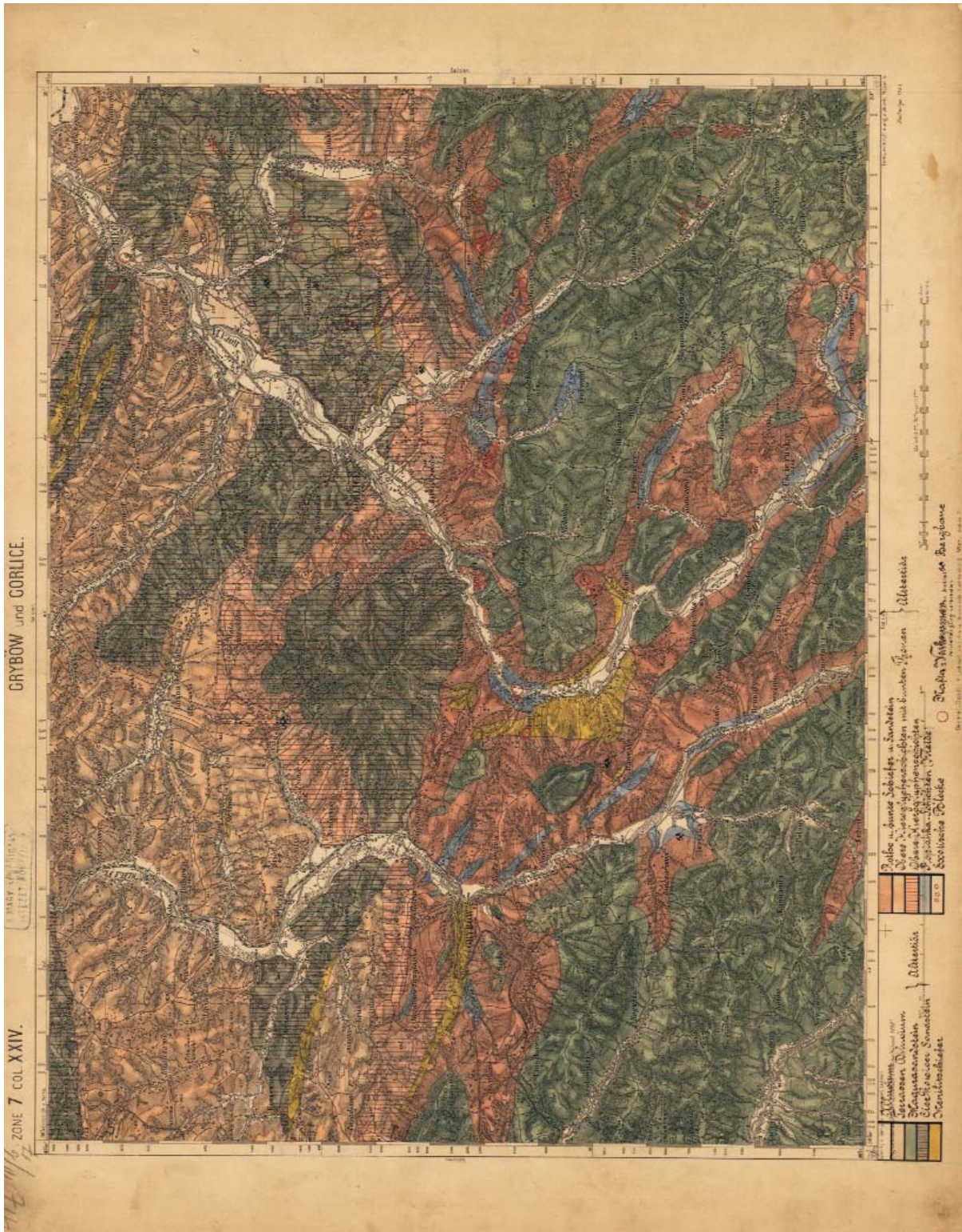
### *A negyedik katonai felvétel*

Ez a századforduló környékén elindított, elsősorban a katonai célokat kielégítő, új felvétel a Monarchia világháború utáni szétesése miatt Magyarországon gyakorlatilag el sem kezdődött, ezért a földtani térképezésben semmilyen szerepet sem játszott.)

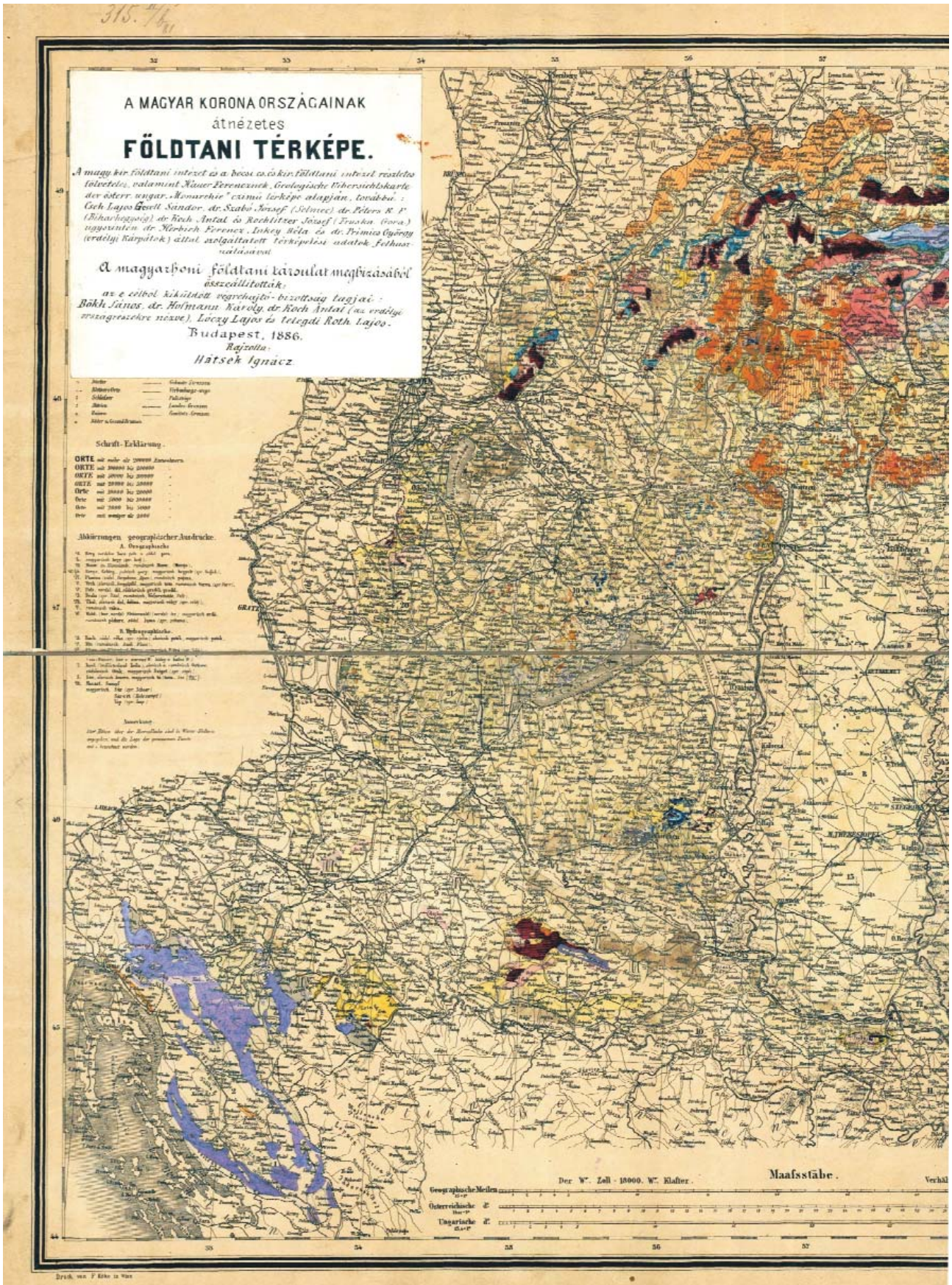
A katonai felvételek részletes leírása, a szelvények térképi ábrázolása JANKÓ 2005 átfogó tanulmányában ismerhető meg.

### **Térképrendszerek a két világháború között**

Az első világháború és az azt követő békeszerződések alapjaiban forgatták fel a kialakult politikai és gazdasági viszonyokat. Tárgyalt témánk szempontjából a monarchia felbomlása radikális változásokat okozott Magyarországon. Ez a térképészet és a földtan szakmai–szervezeti felépítésében is megnyilvánult. A bécsi katonaföldrajzi intézet felelősségi területe Ausztriára korlátozódott, míg az utód-államok megkapták a III. felmérés anyagait. Hazánk elindulhatott az önálló katonai térképészet irányába. Ez sok történelmi léptékű akadály és a békeszerződés által ránk kényszerített szabályozás közepette ment végbe. 1919 januárjában megalakult a Magyar Katonai Térképező Csoport, ami azonban másfél év után megszűnt, illetve a békeszerző-



3. ábra. Kézírtos földtani térkép Magyarország és Galícia határvidékéről. Zone 7, Col XXIV. Grybow és Gorlice. 1:75 000. — MÁFI térképtára  
Figure 3. Manuscript of a 1:75 000 scale geological map from the border-land of Hungary and Galizia. Archive of the Geological Institute of Hungary



4. ábra. Részlet A Magyar korona országainak átnézetes földtani térképéből (Böckh et al. 1886) – MÁFI térképtára, kézirat  
Figure 4. Synoptic geological map (Western part) of the countries of the Hungarian Crown (Böckh J. et al. 1886). Archive of the GIH, manuscript

désben erősen korlátozott katonai létszám miatt polgári alakot öltött. Magyar Királyi Térképészeti Intézetként a Hadügyminisztérium alatt, majd 1922 nyarától Állami Térképészet néven a Magyar Királyi Pénzügyminisztérium igazgatása alatt tevékenykedett (BALLA, HRENKÓ 1991). A folyamatosan jelenlévő katonai jellege azonban csak 1938 decemberének végén jelent meg az elnevezésében, amikor Magyar Királyi Honvéd Térképészeti Intézetté nevezték át.

### *A harmadik katonai felvétel felújítása*

Az önálló magyar topográfiai térképek készítése alapos, a változások helyesbítésén jóval túlmenő módosításokat hozott magával. A huszonöt-, hetvenöt-, kétszáz- és hétszázötvenezres méretarányok megtartása mellett a helyesbítések az új határok közötti ország területére korlátozódtak. Átalakult a szelvényezés megjelölése is: 1917-től a III. felmérés 1:75 000-es lapjait számpárosokból képezték. Az eredeti I. sor (Zone) kapta a 35-ös számot, a korábbi I. rovat (Colonne) pedig a 43-ast. A sor és oszlop kombinációja így egy négyjegyű szám lett (4. ábra). A negyedelésből származtatott 1:25 000-es szelvényeket pedig egy „/” jel után 1-től 4-ig jelölték. Megjelent a Gellért-hegy központú, sztereografikus vetületű koordináta-rendszer és a szintvonalak is fokozatosan visszaszorították a domborzatcsíkos ábrázolást. A helyesbítések módszerei között megjelent a sokkal pontosabb és gyorsabb módszer, a légi fotogrammetria. Új felmérésnek tekinthető felvételek azonban az országnak legfeljebb a 10%-át érintették.

A földtani intézet a világháború előtt a rendszeres földtani felvételeinek zömét a nyersanyagban gazdag hegyvidékekre irányította, így azok gyakorlatilag az utódállamok földtani ismereteit gyarapították, míg az intézetnek a megváltozott körülményekhez kellett igazítania tevékenységét. Egyfelől a korábban is ismert, de reménybeli nyersanyagokkal kevésbé megáldott hegy- és dombvidékeken kellett az elvesztett nyersanyagok helyettesítését biztosító lelőhelyeket megkutatni. Elsősorban a színes ércetek, a bauxit és a szénfélék tartoztak e reménybeli körbe. Másfelől a nagy kiterjedésű sík- és dombvidékeken a tudományosan megalapozott agrogeológiára és talajtanra támaszkodva a mezőgazdaság minél nagyobb teljesítőképességéhez járulhattak hozzá tudományos eredményeikkel — folytatva a világháború előtti magas szintű vizsgálatokat. Ugyancsak e vidékeken tették meg a geofizikai vizsgálatokat, az olaj- és gázkutatás kezdő lépéseit. Ebben a szűk huszonöt évben kezdődött meg a légifényképek földtani célú kiértékelése is. A módszer fontosságát mutatta az intézet életében, hogy itt alakult meg az európai földtani intézetek között elsőként önálló fotogeológiai osztály (BANDAT 1942).

1926-ban az intézet saját házi nyomdát alapított. Tevékenysége elsősorban az intézeti kiadványok szövegek közti térképeinek kinyomatására irányult, de itt adták ki TREITZ P. 1927 egész országra vonatkozó talajtérképét is. A hegyvidékek térképezési eredményeit régiótérképek formájában tették közzé, amik a Magyar Tájak Földtani Leírása c. sorozat mellékleteként jelentek meg. Topográfiai alapjukat

és a térképek kartolitografálását, nyomtatását a harmincas évek közepétől a Magyar Állami Térképészet és a Magyar Királyi Honvéd Térképészeti Intézet (MKHTI) végezte. A katonai térképek rendkívül sokat tettek a térképismertetnek a teljes országra kiterjedő széleskörű elmélyítéséért. A földtanon kívül a turisztáság, vízi sportok által igényelt térképek, atlaszok, földgömbök gyártásával is foglalkoztak. Önálló Megrendelési irodát működtettek, ami révén a polgári célú munkáikból néhány évben nagyobb bevételeik származtak, mint a katonai térképek eladásából (BALLA, HRENKÓ 1991, I., p. 188).

A komoly szakmai felkészültségű katonai állomány folyamatosan a lehető legújabb topográfiai alapokat adta a földtani régiótérképek alá. Kartográfus tapasztalatuk és hozzáértésük biztosította, hogy a térképeket külső megjelenésük szerint napjainkban is a legjobb minőségű földtani térképek közé sorolhassuk. Ugyanitt készültek el a Kreybig-féle 1:25 000-es átnézeti talajismereti térképek. Ezek az egész országra kiterjedő talajtani felvételek voltak, ezért topográfiai alapjukat az 1:25 000-es, sztereo vetületű szelvények adták. A világháború végéig az intézet házi nyomdája mellett a Magyar Királyi Honvéd Térképészeti Intézetben nyomtatták ki a legtöbb intézeti térképet.

A különféle földtani térképek kiadásához mindhárom katonai méretarányt alkalmazták. Az 1:25 000-es méretarányban Nagybatony, Pétervására és Salgótarján környéke valamint Aszód (2/3-os kicsinyítésben) jelent meg, 1:75 000-es a Cserhát és a Mecsek, 1:200 000-es méretarányban a Tiszántúl talajtani szempontokat figyelembe vevő síkvidéki régiótérképeit adták ki.

A kevés számú, a rendszeres felvételek eredményeit bemutató régiótérkép egyáltalán nem azt jelentette, hogy ne folyt volna rendszeres földtani felvétel és térképkiadás ebben az időben hazánk területén. Annak dacára, hogy kivágataikban vagy méretarányukban eltértek a szabályos szelvényezéstől, a földtani térképek és vázlatok száma az intézeti kiadványokban a több százat is elérte. Az 1969-ben, az intézet fennállásának 100-ik évfordulójára összeállított jegyzék szerint a kiadványokban megjelent térképek esetében meghaladta az 1650-et (NOSZKY, BREZSNYÁNSZKY 1969).

A két világháború közötti idők számos terepi felvételi lapja kiadatlanul maradt. Gyakorlatilag az összes felvételi lapot a III. katonai felvétel felújításából készült, egyszínű, sztereo koordinátahálószerű megnyomatott szelvényre dolgozták rá. Napjainkban is több száz ilyen kéziratot őriz a MÁFI Térképtára (5. ábra).

A második világháború kitörése (1939. szeptember 1-je) Az első bécsi döntés (1939. november 2.) és a második bécsi döntés (1940. augusztus 20-a) alapvető változtatásokat hozott a katonai térképészet számára, mert erejét a visszacsatolt területek és a hadműveleti területek térképezése, és a hadműveleti területek térképígyeinek ellátása kötötte le. A Földtani Intézet számára szintén mély, koncepcionális irányváltást jelentett a térképezési tevékenységben. A kifutó hazai munkák mellett a fő intézeti kutatások a visszacsatolt területekre és a háború megvívásához elenged-



5. ábra. LENGYEL E. 1933/34: 4962/1 Szentendre és Pomáz felvételi lapja M:1:25 000-es sztereografikus topográfiai alapon – Kézirat, MÁFI Térképtára A-4962/1-35  
 Figure 5. LENGYEL E. 1933/34: Original survey map of Szentendre and Pomáz on an 1:25 000 scale stereographic base

hetetlen energiahordozók, különösen a kőolaj- és gázkutatás folytatására irányultak. A világháború végéig az előzőekben régiótérképezésnek nevezhető felvételek teljesen lelassultak. A térképkiadásokat a háborús viszonyok, a papírhány, a nyomdai kapacitások szűkössége teljesen visszaszorította a kiadványok mellékletei közé. Az 1:25 000-es átnézeti talajtérképek szerkesztése és kiadása azonban még 1943-ban is zajlott, és összesen 111 szelvényt adott ki a MKHTI. További kb. 140 lap kéziratban maradt és átkerült az önálló Talajtani Kutató Intézethez. A terepi felvételeket és közreadásukat már ott zárták le.

A második világháborúig előforduló topográfiai térképek áttekintő ismertetése és összefoglalásuk a földtani szakma számára HAMPEL 1943 munkájából érhető el.

### **A második világháború után használatos topográfiai térképrendszerek**

A második világháború tragikus véget ért Magyarországnak számára. A szovjet befolyási övezetbe került ország a háborút követő újjáépítésből fokozatosan sztálinista típusú „népi demokráciává” alakult át, ami a topográfiai térképkészítés történetében ugyanúgy élesen megmutatkozott, mint a Földtani Intézet mindenfelé szétindázó, szakadatlan szervezeti és szakmai irányváltásaiban.

Közvetlenül a háború után, és az újjáépítés idejében csupán a meglévő topográfiai térképhátterre lehetett támaszkodni, mert egy új felmérés műszaki előkészítése és a gyakorlatban már használható mennyiségű kész szelvény elkészítése éveket-évtizedeket vesz igénybe. Még inkább így történt hazánkban, amikor a MKHTI a háború végére személyi állománya és a kiürítésekkel teljessé váló szétszórtatása után szinte a nulláról kellett mindent felkutatni, életre kelteni úgy, hogy közben 1946-ban a Szövetséges Ellenőrző Bizottság intézkedései miatt egy rövid ideig meg is szűnt. Végül ugyanebben az évben (1946-ban) újjáalakult a katonai térképészeti intézet, amely hosszú időn keresztül megkérdőjelezte saját jogfolytonosságának tényét is. Ebben a szemléltetést a rendszerváltás előszele hozta el, amióta II. világháború előtti és utáni katonai térképészeti folyamatosságát hangsúlyozni kezdték (BALLA 1989).

Amíg az újjáalakult térképészeti újabb felméréséből nyomtatott térképlapok hozzáférhetővé nem váltak, a földtan és egyéb, terepen dolgozó társtudományai a háború előttről megörökölt sztereo 1:25 000-es térképekkel dolgoztak. Az intézet napjainkban is visszanyúl ezekhez a hegyvidékek korábbi felvételeit magukba foglaló kéziratot, egységesített földtani térképekhez. A Nagyalföldön megszerkesztett talajvíztérkép (RÓNAI 1961) terepen használt térképei szintén e térképek fénymásolatai voltak. A dombvidékek nyersanyag szempontjából kevésbé fontosnak tartott dunántúli részein e felvételek az 1:75 000-es sztereo lapokon készültek el (az ún. „biciklis felvétel”). Világosan kitűnik ez az ország 1:200 000-es földtani térképének a felhasznált forrásokat bemutató áttekintő skiccein. A korábban említett Kreybig-féle átnézeti talajismereti

térképek felvételét már a Földtani Intézet keretein kívül zárták le, anyagait, és szakembereit is átadva a kijelölt talajtani szervezeteknek.

A rendkívül felgyorsított terepi munkák során keletkezett térbeli adatok (fúrások, feltárások, észlelési pontok) e sztereografikus térképek koordinátarendszerében képződtek. Rengeteg térbeli adat napjainkban is megállja a helyét; ezek zöme a folyamatosan épülő térinformatikai adatbázisokba is bekerül.

### *A katonai gyorshelyesbítés, az ún. újfelmérés és annak felújításai és helyesbítései*

A háborút követő tíz évben rendkívül jellemzővé vált, hogy a topográfiai térképek készítése politikai kényszerek szakadatlan hatása, befolyása alatt alakult (és a kívülállóknak egyszerűsítésével élve azt mondhatjuk, hogy így van ez egész napjainkig). Ugyancsak a háború utáni időkben kezdődött meg a polgári célú felmérés és felújítások, helyesbítések szétválása a katonai szervezetben folyó, alapvetően a szovjet alapú, a Varsói Szerződés keretében összehangolt térképészeti tevékenységektől. Kitűnik a polgári térképrendszerek megjelenéséből, hogy kialakításuk és kiadásuk mindenkor a szovjet elképzeléseket képviselő katonai térképészeti irányítása és intézkedései alatt történt. Emiatt a térképrendszerek második világháború utáni történetét taglalva előbb a katonai térképészeti fő vonalait kell felvázolni.

A katonai topográfiai térképezés jellemzője volt az 1:25 000-es méretarány, a Kraszovszkij ellipszoid, a Gauss-Krüger (GK) vetületi rendszer és ún. nemzetközi szelvényezés, valamint a Szovjetunióban elfogadott Balti alapszint átvétele. Ezekben a keretekben előbb egy ún. gyorshelyesbítést végeztek 1950–1952 között, majd közvetlenül ezt követte 1953–1959 között az „újfelmérés” időszak. Figyelembe véve, hogy az I. világháborút megelőzően megindult ún. negyedik katonai felmérés hazánk akkori területét nem érintette, ez az újfelmérés tekinthető valójában a negyedik katonai felmérésnek (TREMMELE, BUGA 2010).

Ez utóbbi Gauss-Krüger vetületű „újfelmérés” térképeit egy újabb helyesbítéssel (1968–1982 között) és 1984–1992 között egy felújítással tartották karban. A felméréssel készített adatok alapján elkészítették a levezetett térképeket is 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000 és 1:500 000-es méretarányokban is. A kartográfiai munkák és a levezetett térképek elkészítése 1996-ig tartott. Megjelenésük közvetve vagy közvetlenül erős hatással volt a földtani térképezésben is felhasználatos topográfiai térképekre, és a térképek kiadására.

A katonai térképszek és az intézetünk közti kapcsolatok újjáéledésére az 1980-as évek végén találjuk az első jeleket. A már említett 1:500 000-es földtani térképsorozat topográfiai alapján kívül ők készítették el a felszíni földtani térképnek (FÜLÖP et al. 1986), és a harmadidőszak előtti aljzatnak (DANK et al. 1986) dombortérkép változatait.

A polgári térképészetre, illetve a földtani tárgyú tematikus térképek készítésére megjelenésük kettős hatást gyakorolt. A bizalmatlanság és az értelmetlenségig túl-

hajsolt titkos ügykezelés általánossá vált, és az egymásra épülő, különböző méretarányú térkép-rendszerek nemzetközi szelvényezési határait nagy vonalakban a földtani térképezési programok is átvették.

A titkosítás már a terepi munkák során érvényesült. A térképek felvétele, terepi felhasználása és kezelése nyakatekert szabályokkal volt megnehezítve, amik a terepre vihető darabok számát, a lefedett km<sup>2</sup>-eket, az éjszakai és hétvégi őrzést mind szabályozta, megsértésüket szankcionálta. Ugyanígy bántak el a légifényképekkel, fékezve azok számos előnyt nyújtó felhasználását.

A Gauss-Krüger vetületű térképek — mint a legfrissebb, legpontosabb topográfiai alapok — a földtani térképkészítést szintén befolyásolták, bár az éberség miatt nem válhattak a földtani térképek általánosan használt forrásává. Titkoságuk miatt a nyomtatásban kiadott térképeink alá a Kartográfiai Vállalatnál e célra külön, egyéni topográfiai szerkesztettek, ami nem csupán összevont és elnagyolt volt, hanem a tudatos elrajzolás nyomai is kimutatható rajtuk. Különösen érvényes volt ez a domborzat ábrázolására, ami pedig a földtani térképek esetében rendkívül visszavetheti a földtani adatok értelmezhetőségét. Ez sem mentette meg a nyomtatott térképek zömét attól, hogy titkos minősítést kapjanak. A hegyvidékek térképeire ugyanúgy találunk példát (Mátra, Mecsek), mint az összevont, kétszázszoros méretarányú földtani térkép lapjainál.

Az egyik legelképeztebb központi intézkedést az 1970-es években hozták: a nyílt minősítésnek az is feltétele volt, hogy a katonaságnál használt „kerek” méretarányoktól a kiadási méretarány mintegy 20%-kal térjen el! Ekkor jelentek meg az 1:20 000-es, 1:40 000-es és esetenként az 1:400 000-es földtani térképek (a Bakony földtani, a Balaton és Budapest építésföldtani térképsorozatai).

Természetszerű lett volna, hogy a rendszeres földtani térképek kiadásakor a szelvényezésük kövesse a terepen használt katonai térképek nemzetközi szelvényezését. A térképek sarokpontjainak kivételesen titkos volta miatt a legtöbb földtani térkép lapjai azonban csak pontatlanul, szabály nélkül megadott átfedésekkel illeszthetők össze. Koordináta minden formájában hiányzott kiadott térképeinkről, pedig a hetvenes évek közepétől már nyilvánvalóvá vált, hogy hamarosan beköszönt a térinformatika világa, aminek nélkülözhetetlen feltétele az egymásba transzformálható koordináta-rendszerek megléte.

A vasszigorral óvott térkép-rendszer a rendszer- és a katonai doktrínaváltás miatt zavarba ejtő véget ért. Napjainkban a katonai térképészek hátsó udvarába ellátogatva bárki szinte kilóra vehet belőlük (PAPP-VÁRY 2010).

#### *Az ország új felmérése (1952–1980)*

A polgári és katonai térképek előállításának és kiadásának szétválási folyamata fokozatosan, de már az ötvenes évek elején megindult. Ez a polgári célokat, „a népgazdasági érdekeket” szem előtt tartó felmérés már az ötvenes évek elején elkezdődött, de a felmérés és a kiadás műszaki tartalma véglegesen csak az ötvenes évek végén

alakult ki. Ekkor dőlt el, hogy a kataszteri felméréstől eltérően, térfotogrammetriai segítséggel, 1:10 000-es méretarányban fog elkészülni. A térképek kiadása 1980-ban zárult le, de a hosszú kivitelezés miatt számos intézkedés módosította a kiindulás műszaki előírásait. A nemzetközi és hazai szelvényezés (lapszéli átfedésekkel), a vetületi rendszer, sőt alapszint szerint is eltérő lapok keverednek bennük. A keveredés fő indoka az volt, hogy a kiinduló sztereografikus alapú felmérést 1957-ben felváltotta a Gauss-Krüger vetület, majd a titkossági követelmények megszigorodása miatt 1965-től ez utóbbi vetületi rendszerrel át (vissza) kellett térni a sztereografikus vetületre és az ún. hazai szelvényezésre. Ez lényegében a százezres szelvények sor és oszlop számozás kombinációjából állt, azon belül a negyedeléseket rendre 1-4 közötti számmal adták meg. Így állt össze az 50, 25 és 10 ezres negyedelések után a további három számjegy és kapta a szakzsargonban a „telefonszámos” megjelölést (pl. 403-144). Mindenesetre ez a tízezres térkép volt az, ami szerint a sztereo koordináta-rendszerben grafikus adatokat az egész országra kiterjedően tárolni lehetett, és pontossága kielégítette a részletes földtani terepi felvételi lapoktól elvárható igényeket. Kiadási méretarányként némileg egyszerűsítve néhány hegyvidéki földtani térképen jelenik csak meg (Mátra, Mecsek), ahol emiatt jámbor beltartalmuk dacára magukon viselték a titkosítás nyúgeit.

Az erre az időkre jellemző kisebb méretarányú, 1:25 000-es és az 1:100 000-es térképeket azonban nem a tízezres alpanyagból, hanem az 1953–1959 közötti „újfelmérés”-ből származtatták, és annak a polgári rendeltetésű változatai voltak. A titkosítás igényeinek kielégítése miatt a huszonötzresről hiányzott még a sztereo koordináta is, a szelvények menti illeszkedést csak a közös, átfedő beltartalom adta, úgy-ahogy. De leginkább a külső megjelenésük volt visszataszító, mert az olvashatóság követelményét teljesen feladva két színnel, sűrűre és barna kombinálásával nyomtatták ki. Pedig ezek a térképek lefedték a teljes országot, ezért a sík- és dombvidékek terepi munkáihoz, illetve a szénhidrogén prognózishoz ezek szolgáltatták volna a topográfiai alapokat. Minden valószínűség szerint tudatos torzítást is belevittek, mert amikor az ilyen térképeken szerkesztett földtani vonalművet a pontos digitális topográfiai alapra illesztették az intézeti térinformatikusok, a Kisalföld százezres vízhálózatában például több mm-es eltérések is megfigyelhetők voltak. Ennek ismeretében még inkább értelmetlennek tűnik ennek a csonka, „polgári célú”, hiányos térképsorozatnak 1989 fordulójáig fenntartott titkos ügykezelése.

#### *Az 1:10 000-es polgári célú térkép felújítása 1972–1999 (EOTR)*

A tízezres térképek 1952-től elindult kiadása még le sem zárult, amikor 1969-ben megkezdődött egy újabb, a kataszteri és polgári térképészet számára szolgáló, egységes térkép-rendszer alapelveinek kidolgozása. Napjainkban már különös bátorság nélkül kijelenthető: kialakításának első-



rendű szempontja a Varsói Szerződés térképészeti szolgálatai irányából jövő folyamatos nyomás volt (BALLA, HRENKÓ 1991, I., p. 423). Ez titkossági intézkedésekben és a katonai térképektől történő fokozatos és szigorodó eltávolításban nyilvánult meg (geodéziai alapok, koordináták, méretarányok stb.). Kétségtelen hasznos lehetett ugyanakkor a polgári célú térképészet számára, mert jogszabályi keretekben rögzítve, a műszaki és pénzügyi feltételek megteremtésében, szervezeteiben, a szakemberek képzésében és létszámában is megerősödhetett. (Más kérdés, hogy a topográfiai térképezés megkettőzése a maga eszközeivel szintén hozzájárult a teljes gazdasági ellehetetlenülés folyamatához.)

Több éves vajúadás, és szakmai viták során alakult ki a végső vetületi rendszer és a hozzá kapcsolódó, a kataszteri térképek 1:500-as méretarányáig levezetett Egységes Országos Térkép Rendszer (EOTR). Mindenképpen előnye, hogy hosszas és körülményesen kezelhető áthidaló idők után a korábbról használatban lévőket egyetlen térbeli rendszerrel váltotta fel. Napjaink térinformatikai programjai ismerik és biztosítják a kapcsolatokat a GPS használatán alapuló adatgyűjtés, valamint a határon túlnyúló és egyéb nemzetközi együttműködések között.

A felújítási munkák az 1970-es évek közepétől indultak meg, és az 1990-es évek közepén zárultak le. Az eredeti célok között kitűzött teljes térképsorozat azonban nem készült el: a 1:10 000-es térképek kiadása az 1990-es években lezárult, de a 1:100 000-es térképek, és csak a Nagyalföld középső részéről elkészült 1:25 000-es térképek már az 1953–1959. évi „újfelmérés” szelvényeinek az ún. polgári rendeltetésű változatai voltak. Az ötvenezres méretarányú térképek kiadását pedig nem is tervezték, bár a szelvényezésben a helyük megvan (a százalékos térképek kereszt- és hosszirányú felezéseiből lennének előállíthatók).

Lényegében véve a megelőző évtizedek 1:10 000-es felvételének felújítása adja a terepi földtani felvételek napjainkban használatos papíralapú térképi háttérét.

### *Digitális topográfiai alapok*

Intézetünk a nyolcvanas évek közepétől fokozatosan megkezdte az önálló számítástechnikai háttérének kiépítését, ami egy évekig tartó folyamatot indított el. Ennek során — részben spontán módon — fokozatosan kialakultak a szervezeti keretek, a számítógépes háttér, valamint az ehhez nélkülözhetetlen szakemberek összefogása. Ennek részeként előbb a nagy összegű külső megbízások (MÁELGI, Számalk stb.) csökkentek le, átadva helyüket a belső megoldásoknak. Az első PC-k beszerzéséhez a szervezeti és anyagi háttér egy akkor működő tárcaközi szervezet, a Távérzékelési Program Iroda tette lehetővé. Távérzékelési módszereket számítástechnikai háttér, képfeldolgozó programok nélkül művelni nem lehet. Nyilvánvaló volt ugyanakkor, hogy az intézetünk számára sokkal fontosabb a térinformatika, ami a távérzékeléssel szoros átfedésben, nagyon hasonló eszközparkkal és módszerekkel fejlődik. Az AutoCAD nehézkes rajzolóprogramjáról már 1987-ben áttértünk az akkor egyet-

len, PC-n futó GIS szoftver, a MicroStation használatára. Ez egyáltalán nem volt egyszerű dolog, mert az akkori időkben az ún. COCOM lista szigorú korlátozásaival lehetett beszerezni. A szoftverválasztás helyességét igazolták a rendszerváltás idején bekövetkezett, nehezen megélhető intézeti változások. A kényszerűen feladott intézeti térképszerkesztés, -rajzolás és nyomtatás helyett jelentősebb kihagyások nélkül megindult az első adatbázisok felépítése, a digitális térképrajzolás, a plottolás és térképnymtatás (TURCZI 2000).

### *T.I.E.Di.T. 1974*

A térinformatikai szoftverek alkalmazásának kezdetei még a titkos ügykezelés triumfálásának idején elkezdődtek. Hiába volt erőteljes az adatbázisok kiépítésekor a nyomás a téradatkezelők és elemzők oldaláról, folyamatosan beleütköztek a légifényképek, a topográfiai térképek és a belőlük képzett anyagok minősítési problémáiba. Valószínűleg ennek a kikerülése készítette a VÁTI-t, hogy az országban végbemenő folyamatok (közlekedés, lakosság belső mozgása stb.) elemzése érdekében egy olyan térkép-sorozatot alakítson ki, aminek szelvényezése és koordinátarendszere teljesen eltér és független a meglévőktől. Lényege egy milliméterhálón alapuló, 100×100 m-es, országos grid volt, aminek a számozása dél és kelet felé növekedett. A hálóra 1:100 000-es méretarányú, egyszerűsített, domborzat nélküli topográfiai alapot rajzoltak. A térkép neve Terület-használati Információk Egységes Digitális Térképe (T.I.E.Di.T.) lett. Az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium kiadásában jelent meg 2000 példányban. A térképet 50×50 km-es vonalak mentén felhasználva szelvényezték, és a grid első két számjegyéből képzett törttel jelölték (pl. 30/70 Budapest). Adatokat csak a beltartalom alapján, grafikusan lehetett felrakni és leolvasni, ennek megfelelően térinformatikai alapnak minősíteni igazából nem lehetett. Ennek ellenére „Szolgálati használatra” minősítést kapott.

Néhány grafikus adatbázis készült a Magyar Geológiai Szolgálatnál (pl. meddőhányók), de egyéb felhasználásáról nincs adatunk. Az idő azokat igazolta, akik a földtani alkalmazások során elkerülték, mert némi adatkonverziós problémákat maga mögött hagyva a térkép azóta nyomtalanul eltűnt.

### *OTAB (Országos Térképészeti Adatbázis)*

A digitális térképszerkesztés megkívánta a digitális topográfiai alapokat. A hazai piacon fellelhető első topográfiai adatállomány az OTAB (Országos Térképészeti Adatbázis) volt. A rendszerváltás idején, az 1980-as és 1990-es évek fordulóján dolgozta ki a Geometria Térinformatikai Rendszerház Kft. Eredetileg az 1:100 000-es EOTR topográfiai térképek digitalizálásából származott. Ez megfeleltethető volna az 1:200 000-es, és kisebb méretarányú térképek alapjának, de a szintvonalarajz hiányzott belőlük. Bár intézetünk is rendelkezett a korai verziókkal, módosításai későn jelentek meg ahhoz, hogy a földtani térképek alapjaként elterjedjenek.

### *Digitális Topográfiai Adatbázis 1:50 000 (DTA-50)*

A hazai, korlátozott piacon egyedül az MH térképészek által előállított DTA-50 vektoros topográfiai térkép tartalmazott szintvonalakat, szelvényezése a saját szelvényezésünkkel esett egybe, részletessége régiótérképeink méretarányával azonosak voltak. Az 1993–1995 között elkészített v1.0 digitális adatbázishoz a hozzáférést a két intézet közötti együttműködés tette lehetővé. A kapott adatállományt alapanyagként használtuk fel a saját alkalmazásainkhoz.

Az egész országot és országrészeket lefedő tematikus földtudományi térképeink alapjának intézetünk százezres méretarányt határozott meg DTA-50/c jelöléssel. Ehhez számos réteget összevontunk, a szignatúra jelek zömét kikapcsoltuk, illetve megritkítottuk, az ábrázolt jelek és szövegek méretét az új méretarányhoz igazítottuk. Ez sem jelentette azonban az adatok törlését, hanem kikapcsolt rétegekre emeltük át. A színeket a háttértérképeink elfogadott színvilágához igazítottuk: a vízrajz: kék; a domborzat: rőt barna; a síkrajz: szürke; a közigazgatási határok: pirosak. Az így kialakított országos topográfiai alap egyben a webes alapú térképszolgáltatásainkban is megjelenik.

Az alapból a generalizálás általános szabályait betartva levezettünk kétszázezres, félmillió és millió topográfiai is; úthálózatukat, a várossá nyilvánított településeket folyamatosan frissítjük.

Intézetünk birtokában van a katonai ötvenezres térképek szintvonalalaiból előállított raszteres domborzati modellnek is (DDM-10 — Digitális Domborzatmodell 10×10 m-es griddel). Ezzel számos földtani feladat megoldására nyílt tér a 3D, az ország földtani modellje, a geomorfológiai-neotektonikai kutatások, lefolyási modellek, kitétség stb. tekintetében.

Térinformatikai adatbázisainkat tekintettel a határmenti és EU közös projektekre EOVS és WGS-84 rendszerekben fejlesztjük. Az ehhez szükséges konverziókat a birtokunkban lévő GIS szoftverek már beépítve tartalmazzák.

A DTA-50-et követő katonai digitális térképészeti adatbázisok, így a teljes országra elkészített Gauss-Krüger vetületi rendszerű térképek felújítása 1:50 000-es méretarányban, WGS-84 ellipszoidon, UTM vetületi rendszerben és ezek további kiadásai a változásokon, a frissítéseken túlmenően kevés újdonsággal szolgálnak a földtani térképek készítése folyamatában.

Vonatkozik ez a 2005-ben elindított hatodik újfelmérésre is, a digitális technológiával, ortofotókkal és terepi

helyszíneléssel végrehajtott, napjainkban is zajló VTopo-25 adatbázisra.

Évtizedes időtávon belül ezért nem számolunk a meglevő digitális topográfiai alapjaink bővítésével, újabb térképészeti adatbázisok alkalmazásával.

### *Újabb technológiák bevezetése a térképkészítés folyamatába*

Az évek alatt kialakított gyakorlat szerint a hazánkra kialakított térképi adatbázisainkat EOVS rendszerben tároljuk. Emellett a WGS-84 paraméterei szerint is készítünk térképi adatbázisokat, amik a határmenti, nemzetközi projekteket szolgálják.

Ahhoz, hogy a megfelelő minőségű, de a fentiekben áttekintett egyéb vetületi rendszerű térképek archiválását, digitalizálását illeti, ezeket a BME Általános és Felsőgeodézia Tanszéken kidolgozott *Vetület* nevű szoftverrel végezzük, kellő sűrűségű illesztőpont átszámítása után. Ezt a programot intézeti belső szabványnak tekintjük, biztosítva a többszörös transzformációk után kapott értékek pontosságát, állandóságát.

Végezetül a webes szolgáltatásokról (TURCZI 2004). Legfontosabbnak ítélt térképi adatbázisainkat 2005-ben kezdtük el publikálni. Az elérhető adatbázisok köre folyamatosan gyarapodik. Ezek közé sorolhatók a jelentős országos projektek közreadása, így az egységes százezres földtani térkép (EOFT 100), valamint a nemzetközi együttműködésben készült (eWater, T-JAM, TransEnergy stb.) adatbázisok, és az EU tagországok INSPIRE projektjében szolgáltatandó tematikák.

### **Záró mondatok**

Nem kétséges a számunkra, hogy ennek az áttekintésnek a legutolsó, a 21. század elejét ismertető szakasza a jövő olvasói számára ugyanolyan történeti visszatekintés része lesz, mint ennek a cikknek az első, nagyobb fele. Jó azért észben tartani, hogy a majdani — és persze a mai — főlényes tudásunk évszázadok folyamatosan gyarapodó, kisebb-nagyobb sikerek, néhol zsákutcákba torkolló kudarcok eredője. És saját munkájának megbecsülését mindenki csak akkor várhatja el a majdani múlttól, ha elődei munkáját és erőfeszítéseiket maga is ismeri, eredményeit megbecsüli, és kudarcaiból pedig okul.



## Irodalom — References

- [Magyar Királyi Földtani Intézet] 1911: *A Magyar Királyi Földtani Intézet Könyvtárának betűrendes címjegyzéke valamint a térképeknek és rajzbeli ábrázolásoknak földrajzilag csoportosított jegyzéke*. — Magyar Királyi Földtani Intézet, Budapest, pp. 450–469.
- ALABÉR L., FORIÁN-SZABÓ M., KOVÁCS E. 2008: A VTopo-25 adatbázis. — *Geodézia és Kartográfia* 60 (5), pp. 28–34.
- BALLA J. 1989: Hány éves a magyar katonai térképészet? — *Geodézia és Kartográfia* 41 (5), pp. 323–329
- BALLA J., HRENKÓ P. 1991: *A magyar katonai térképészet története I.* — HM Térképész Szolgálat Főnökség, Budapest, 451 p.
- BANDAT H. 1942: Légifényképek alkalmazása a geológiai kutatásban. — *Beszámoló a M. Kir. Földtani Intézet vitailésleinek munkálatairól* (A M. Kir. Földtani Intézet 1942. Évi Jelentésének függeléke) 4, pp. 5–21.
- BÖCKH J., HOFMANN K., KOCH A., LÓCZY L., TELEGDY RÓTH L. 1886: *A magyar korona országainak átnézetes földtani térképe; 1:1 296 000*. — *Kézirat*, A Magyarhoni Földtani Társulat megbízásából.
- BÖCKH J., KOCH A., PETHÓ GY., TELEGDY RÓTH L., SCHAFARZIK F., SZONTAGH T., GESELL S., HALAVÁTS GY., PALLINI INKEY B., POSEWITZ T. 1896: *Magyarország geológiai térképe 1:1 000 000*. — Magyarhoni Geológiai Társulat kiadása, Budapest.
- FALLON, L. A. von 1822: *Das Österreichische-Kaiserthum mit betrachlichen Theilen der angrenzenden Staaten... Topographischen Bureau des k.k. Generalquartiermeisterstabs unter der Leitung den Obersten Fallon*. — Országos Széchényi Könyvtár térképtára T 15837 [http://www.topomap.hu/webshop/index.php;menu=oszk&sidkat=mok\\_19\\_1f](http://www.topomap.hu/webshop/index.php;menu=oszk&sidkat=mok_19_1f)
- HADINGER, W. 1847: *Geognostische Übersichtskarte der Österreichischen Monarchie, 1:864 000*. — Geologisches Reichsanstalt, Wien.
- HAMPEL F. 1943: Topográfiai térképek ismertetése. — *Földtani Közöny* 70 (1–3), pp. 360–374.
- HANTKEN M. 1871: Esztergom barnaszénterületének földtani térképe 1:72 000. — In: HANTKEN M. 1871: *Az esztergomi barnaszénterület földtani viszonyai. A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* 1 (1), 140 p.
- HERBICH F. 1878: A Székelyföld földtani térképe; 1:288 000. — In: *A Székelyföld földtani és őslénytani leírása. A M. Kir. Földtani Intézet Évi Jelentése* 5 (2), 302 p.
- IRMÉDI-MOLNÁR L. 1958: A magyar kamara térképező munkálatai a Temesközben 1780-tól 1859-ig, pp. 10–16. — *Térképtudományi Tanulmányok (I.)*. H. M. Térképészeti Intézet, 386 p.
- JANKÓ A. 2007: *Magyarország katonai felmérései 1763–1950*. — A Hadtörténeti Intézet és Múzeum Könyvtára, 196 p. + CD melléklet.
- JOÓ I., RAUM F. (főszerk.), BALÁZS L., CSATKAI D., HRENKÓ P., NAGY-PÁL J., PAPP-VÁRY Á., WINKLER GY. (szerk.) 1990–1993: *A magyar földmérés és térképészet története I–IV*. — *Kézirat*, Geodéziai és Kartográfiai Egyesület (Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság), Budapest–Székesfehérvár, pp. 509–531.
- [Magyar Királyi Földtani Intézet] 1888: Grybov und Gorlice. Zone 7, Col XXIV., Földtani térkép, 1:75 000. — *Kézirat*, MÁFI térképtára.
- NAGY Z. 1985: Magyar topográfiai alaptérképművek. — *Kézirat*, Doktori értekezés, ELTE TTK Térképtudományi tanszéke.
- NOSZKY J., BREZSNYÁNSZKY K. 1969: A Földtani Intézetben készült térképek 1869–1969. — *Kézirat*, MÁFI Könyvtára 100 841 O; 223 p.
- PAPP-VÁRY Á. 2010: Két évtizede nem titkosak a térképek. — *Geodézia és Kartográfia* 62, pp. 22–25.
- RÓNAI A. 1961: *Az Alföld talajvíztérképe. Magyarázó a talajvíztükör felszínalatti mélységének 1:200 000-es méretű földtani térképéhez*. — MÁFI alkalmi kiadványa [sz.n.] Budapest, 102 p., [5] t. + 4 térkép melléklet
- SZABÓ J. 1878: Budapest környékének földtani térképe; 1:28 000. — In: ZSIGMONDY V. 1878: *A városligeti artézi kút Budapestben*. Légrády testvérek kiadása, Budapest, 86 p.
- TREITZ P. 1927: *Magyarország talaj-régióinak átnézetes térképe 1:1 000 000*. — A Magyar Királyi Földtani Intézet kiadványa, Budapest
- TREMEL Á., BUGA L. 2010: Magyarország negyedik katonai felmérése. — *Geodézia és Kartográfia* 62 (1), pp. 26–29.
- TURCZI G. 2000: Térkép alapú informatika a földtudományban. — *Kézirat*, PhD értekezés, Budapest, 95 p.
- TURCZI G. 2004: Földtani térmodell építése — adatbázisok az intra- és interneten. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése a 2004. évről*, pp. 125–130.

## Függelék — Enclosure

Az egyes hazai térképrendszerek áttekintő térképeinek elérési helyei:

- I. katonai felmérés: JANKÓ A. 2007: p. 182  
 II. katonai felmérés: JANKÓ A. 2007: p. 186  
 III. katonai felmérés: JANKÓ A. 2007: p. 190

Sztereografikus szelvényezésű térképek:

- I. katonai felmérés: JANKÓ A. 2007: p. 193, 195

A II. világháborút követő idők topográfiai térképei: MÁFI térképtára

## Brittle Fault Zones in the Mórággy Granite (South Transdanubia): New Structural and K–Ar Data

GYULA MAROS<sup>1</sup>, BALÁZS KOROKNAI<sup>1</sup>, KLÁRA PALOTÁS<sup>1</sup>, BALÁZS MUSITZ<sup>1</sup>, JUDIT FÜRI<sup>1</sup>, JÁNOS BORSODY<sup>1</sup>, PÉTER KOVÁCS-PÁLFY<sup>1</sup>, PÉTER KÓNYA<sup>1</sup>, ISTVÁN VICZIÁN<sup>1</sup>, KADOSA BALOGH<sup>2</sup>, ZOLTÁN PÉCSKAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geological Institute of Hungary, H-1143 Budapest Stefánia út 14.

<sup>2</sup>Hungarian Academy of Sciences, Atomki, Debrecen, H-4026 Debrecen, Bem tér 18/c.



**Key words:** brittle deformation, gouge, granite, Hungary, illite, K–Ar, structural analysis, shear zone

### Abstract

Brittle fault zones are essential elements in the structural picture of the Mórággy Granite on grounds of the results of the approximately 15-year ground-based and underground geological exploration aiming at the final deposition of low- and intermediate-level radioactive waste, which was ordered by the Paks Nuclear Power Plant Plc, and later the Public Agency for Radioactive Waste Management (Puram). They are generally steep (60–90°), their main strikes are NE–SW, E–W, (N)NW–(S)SE and more rarely N–S. The most significant (thicker than 5 m, clay-gouge-bearing fault zone[s]), mostly NE–SW and approximately E–W striking fault zones appear about 500 m from one another according to the most reliable data source, the tunnel mapping, while the distance of the less important zones from one another is about 50–100 m. The anisotropy surfaces (rock boundaries, ductile and transitional brittle-ductile shear zones) that had formerly developed in the granite body acted as structural preformation during the formation of the fault zones in numerous cases. The evolution of the zones was basically determined by the fluids that got in and flew in the granite body after the initial cataclasis of the rock and contributed to the further weakening of the rock and also to the cementation of the zones.

Both the steepness of the zones and most of the slickenlines indicate strike-slip, oblique strike-slip movement, but at the same time, in the majority of cases no obvious kinematics can be assigned to the above mentioned strikes. Several slickenlines can often be measured in a particular zone on individual fault surfaces parallel to the zone which indicate the multiple renewals of the fault zones. Generally displacements of a few decimeters to meters can be documented along the zones.

The pattern and dip distribution of the fault zones can be basically described with the help of two brittle deformation phases, which have formed the structures of significant importance. In the kinematic model proposed an old (Mesozoic) dextral system appears first along the ?NE–SW (so-called longitudinal, approximately parallel to the Mecsekajka Zone) fault zones as major shear zones after the Variscan ductile deformations. This is followed by a Neogene transpressional dextral system along ?(N)NW–(S)SE striking transversal planes as major shear zones. Presumably, a sinistral longitudinal system also evolved between the two phases and another one after them; these were active during the intrusion of the Cretaceous alkaline basalt dykes and the elevation of the Mecsek Mts. and the Mórággy Block, respectively.

K–Ar age determinations from the most intensively deformed clay fault gouges of the fault zones were carried out. The polytype of illite is predominantly 1M that refers to hydrothermal genetics. The age determinations obtained on illite-rich fine fractions provided rather scattered Mesozoic (Middle/Late Triassic – Late Cretaceous) ages, indicating multi-phase illite formation in the research area. The oldest (Triassic) ages can be qualified as most reliable on grounds of different mineralogical/structural considerations (mixed illite/smectite structure and quantity of smectite, FWHM values, presence of other “disturbing” phases), so they probably indicate the age of real brittle structural event(s), which seem to be supported by the widespread regional occurrences of such ages. Although with a bit greater uncertainty, the same of the Late Cretaceous ages can be supposed. The geological meaning of the Middle Jurassic and the Early Cretaceous ages is problematic owing to the uncertainty of the genetic connection between the considerable amount of illite/smectite or smectite in these samples, and the dated 1M illite.



## Introduction

Brittle fault zones, formed by rigid deformation in relatively small, sheet-like rock volumes of the upper crust (<10 km), represent the most complex structural objects of brittle deformation. In this work the brittle fault zones of the Mórógy Granite exposed in the northeastern part of the Mórógy crystalline block are discussed. The structural investigations—as an integral part of the geological research on the final disposal of nuclear waste of low- to intermediate activity—were carried out in various research objects as boreholes drilled during the ground-based and underground geological research phases (MAROS et al. 1999; DUDKO 2000; MAROS, PALOTÁS 2000a–b; ZILÁHI-SEBESS et al. 2000; MAROS et al. 2003, 2004; SZONGOTH et al. 2003; BALLA et al. 2003, 2008; BALLA 2004; ZILÁHI-SEBESS 2005; MAROS 2006; and references therein), surface outcrops (DUDKO, SZEBÉNYI 2003; MAROS et al. 2003; GYALOG et al. 2006), exploratory trenches (GYALOG et al. 2003), furthermore inclines (MOLNOS et al. 2006, 2007, 2008). The research was ordered and financed by Puram.

Detailed investigation of fault zones transecting the granite body is of basic importance in order to characterise properly the geological medium of the nuclear waste repository. Beside the rock mechanical aspects, fault zones play also a crucial role in the hydrogeological features of the repository and its near surroundings, since they can serve both as barriers or especially good conducting zones for fluid migration. Moreover, authors' experiences show that these features can even change along the strike of a given fault zone. In this study first the main types and geometrical characteristics of fault zones will be introduced, then an overview will be given on the microstructural and mineralogical properties of clay-gouge-bearing fault core zones, furthermore also on the spatial distribution and kinematics of fault zones, finally their age and formation mechanism will be discussed.

Up to now, structural documentation of 358 fault zones was carried out in the different research objects. Structural data of a given zone may belong to one, relatively well-defined zone with a specific strike or to a relatively smaller, separately documented zone that forms an individual branch of a larger fault zone.

The type, elaboration and reliability of the documentation is somewhat different in the different research objects, consequently there are also differences among the numbers of elements of the applied evaluation categories (e.g. orientation, thickness). There are, for instance, altogether 358 fault zones, from which 323 zones have their own orientation data, and 319 zones have their own thickness data. In the case of inclines—in order to avoid data redundancy and consequent distorting effect—only one measured orientation datum for an individual fault zone plane was always considered if its correlation was quite unambiguous between the two tunnels.

## Geological Setting

The research area located in the northeastern part of the Mórógy crystalline block (JANTSKY 1953, 1979) belongs to the so-called Mecsek Zone representing the northernmost, Alpine tectonic subunit of the Tisza Unit (Figure 1). Among the pre-Cenozoic rocks of the Mórógy crystalline block granitoid rocks assigned to the Mórógy Granite Formation (BALLA et al. 2003) prevail. The NE–SW trending granite body is bounded by the similarly NE–SW trending and steeply NW-dipping Mecsekalja Zone from the NW in which mylonitic, Lower Palaeozoic metamorphic rocks are exposed. At the northwestern margin of the Mórógy Block non-metamorphic, Lower Jurassic sediments have a sharp tectonic contact with the mylonitic metamorphites. All of the previously mentioned rock series are crosscut by Cretaceous alkaline volcanic dykes of various composition (“bostonites”; MAURITZ, CSAJÁGHY 1952). These pre-Cenozoic basement rocks are discordantly overlain by Neogene or Quaternary sediments.

The Lower Carboniferous (≈340 Ma: KLÖTZLI et al. 2004; GERDES 2006) Mórógy Granite is composed of two major lithological elements: microcline megacryst-bearing biotite monzogranites and mafic enclaves of predominantly monzonitic composition. These rocks were formed by the mixing and mingling of two different magmas in the early phase of the magmatic evolution (BUDA 1999; BUDA et al. 2000; KIRÁLY, KOROKNAI 2004; BUDA, DOBOSI 2004), defining also the magmatic structure of the pluton (MAROS 2006). Structural phenomena observed in the Mórógy Granite can be related to three main deformation regimes (magmatic, ductile and brittle). The different deformations can be attributed to two major orogenic cycles (KOROKNAI 2009; MAROS, KOROKNAI, 2009):

1) The predominant NE–SW trending structure of the granite body was achieved during the *Variscan* orogenesis. The Variscan tectonics can be divided into two major stages:

1a) Both the early and late phases of the *magmatic stage* are characterised by the formation of NE–SW trending structures (rock boundaries, contamination planes, elongate-flattened mafic enclaves, and leucocratic dykes). The well-defined orientation of these phenomena suggests the presence of an active, non-hydrostatic stress field during the magmatic evolution.

1b) Ductile deformation associated with the *metamorphic stage* of the Variscan tectonics produced two, also NE–SW trending, rather steeply dipping foliation generations, furthermore mylonitic zones and folds in the already solidified pluton. Beside these ductile structural elements, the formation of coeval brittle faults—as well as in the magmatic stage—is also supposed, although this assumption is difficult to prove directly.

2) The second main tectonic event is represented by the *Alpine* orogenesis in the course of which numerous brittle deformation phases occurred, including here also the intrusion of Cretaceous alkaline volcanic dykes into the pluton. Brittle fault zones discussed in this study are the products of the *Alpine*

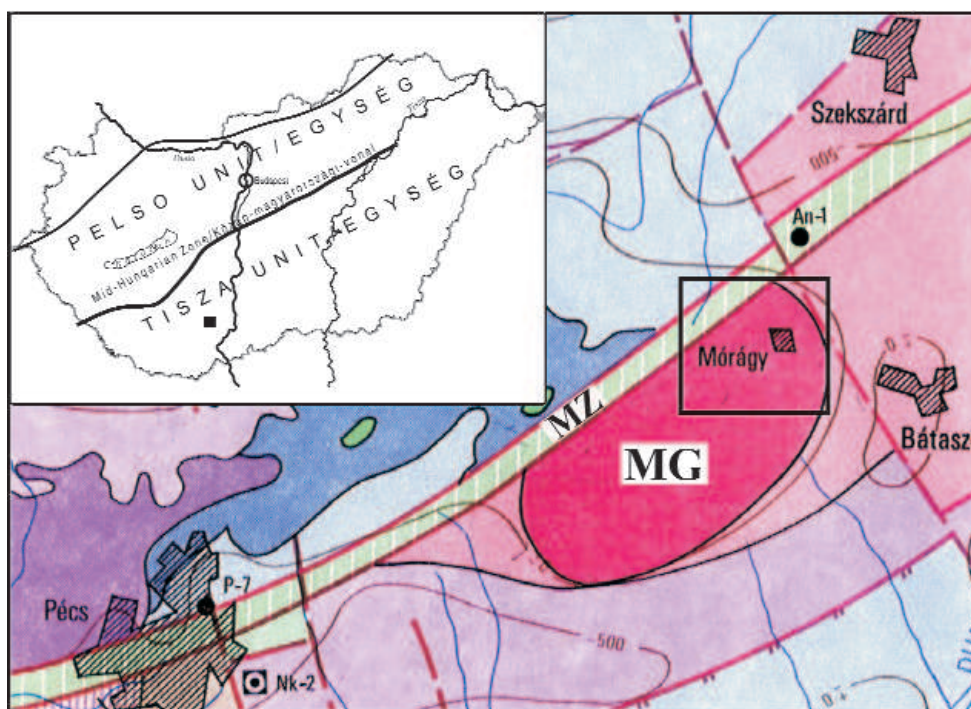


Figure 1. Pre-Cenozoic geological overview map of the Eastern Mecsek Mts and the Mórógy crystalline block (after FÜLÖP 1994)

The study area is indicated by the black rectangle; red = Mórógy Granite, purple = Triassic, blue = Jurassic, green = Cretaceous rock series (the lighter tones indicate the subsurface distribution of the individual rock series); MZ = Lower Palaeozoic metamorphic rocks of the Mecsekalja zone, MG = surface distribution of the Mórógy Granite; top left: generalised tectonic map with the study area (black square)

1. ábra. A Keleti-Mecsek és a Mórógyi-rög áttekintő prekainozoos földtani térképe (FÜLÖP 1994 nyomán)

A vizsgált terület helyzetét a téglalap jelzi; piros = Mórógyi Gránit, lila = triász, kék = jura, zöld = kréta képződmények (a világosabb színárnyalatok az egyes képződmények felszín alatti elterjedését mutatják); MZ = Mecsekalja-zóna ópaleozoos metamorf képződményei, MG = a Mórógyi Gránit felszíni elterjedése; bal felső sarokban: vázlatos nagyszerkezeti térkép a kutatási terület (fekete négyzet) feltüntetésével

tectonics mainly; however, some of them may represent pre-existing, reactivated Variscan fault zones.

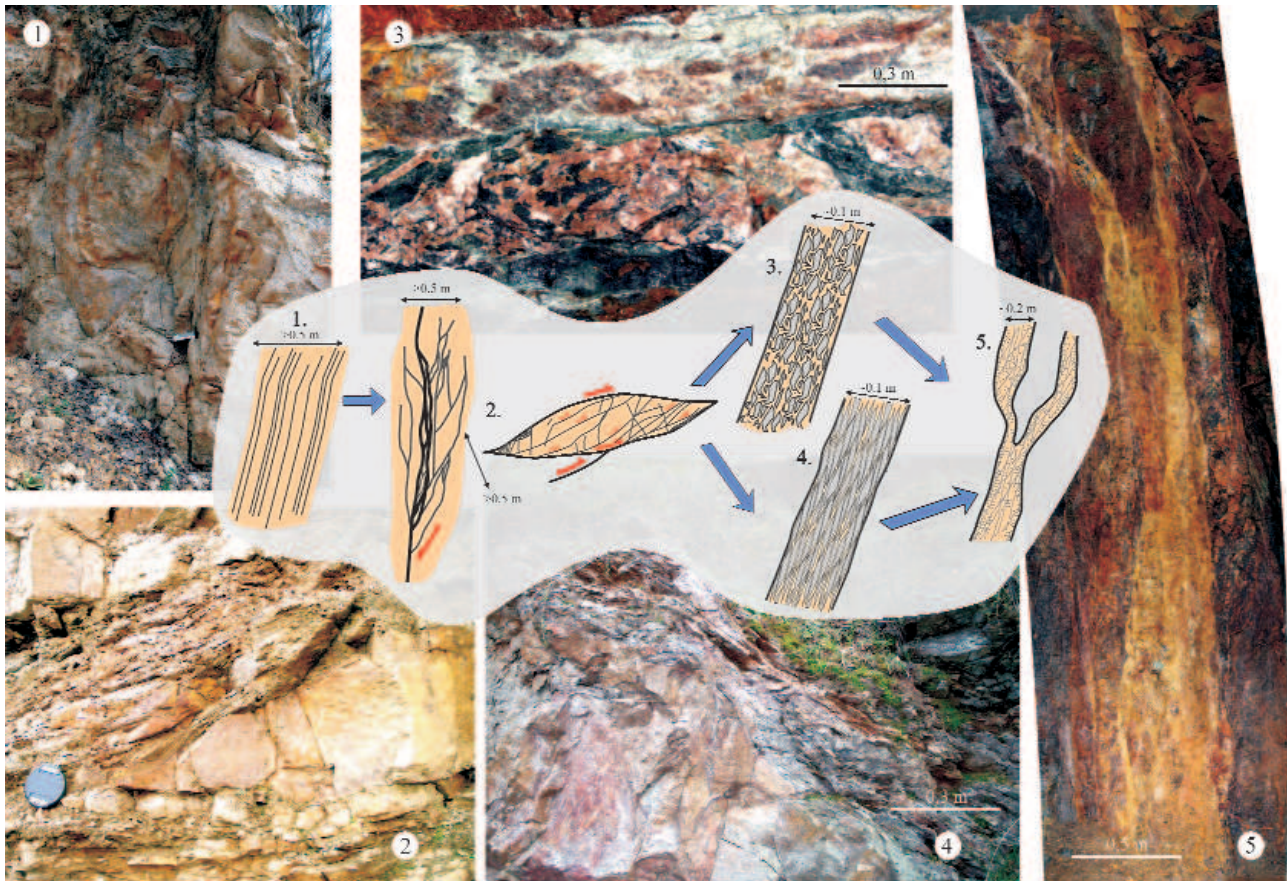
### Structure and Types of Fault Zones

Fault zones are generally about tabular or sheet-like zones with planar or undulating surfaces, where rocks are much more intensively deformed than in their environment. Their typical thickness ranges between a few cm – a few 10s m in the research area.

Several basic types can be distinctly distinguished among the documented fault zones on the grounds of the characteristic structure of their most intensively deformed zone (Figure 2). The basic types that have been identified in the research area can be arranged into an evolutionary succession (MAROS 2006) on the basis of the increasing intensity of the deformation (Figure 2). Various types can occur—even repeatedly—within one fault zone, in this case the classification of the fault zone happens by the type showing the most intensive deformation. An important factor is when a zone is developing that the degree of deformation generally varies in different rock variations of the granitoid body, and not rarely, the orientation of a zone

(e.g. foliation, transitional brittle-ductile shear zones [so-called “pseudo-mylonites”]) largely preform a fault zone during its development.

The “least developed” fault zone is *fault bundle* which is a dense set of faults running approximately parallel to one another (Figure 2, 1). The number of faults is 5–10 or more, the distance between faults is generally 2–20 cm. *Braided-sigmoidal* strike-slip or inverse *duplexes* evolve with the intensity of deformation increasing (BOYER, ELLIOTT 1982, RAMSAY, HUBER 1987). In this case the brittle deformation advances not only along one plane but about parallel planes that are connected with “deformation bridges”. The geometry of the latter follows the direction of the so-called P faults, which commonly do not crosscut the major faults but bend into them. This finally leads to the formation of sigmoidal structures, which were called “deformation fish” after their characteristic shape during the documentation. The originally neighbouring rock bodies partly “creep” upon one another (or near one another in the case of strike slips) along the boundaries of fish, such multiplying the original thickness (Figure 2, 2). The intensively deformed, rather narrow core zone cannot be distinguished clearly within the comparatively thick braided-sigmoidal or bundled fault zones to authors’ experience.



**Figure 2.** Basic types of fault zones on grounds of the structure of their most intensively deformed zone

The arrows indicate the possible transitions between the different types as the intensity of the deformation increases; 1—fault bundle, 2—braided-sigmoidal strike-slip or inverse duplex, 3—flaky, 4—brecciated, 5—rubbled with clay fault gouge

**2. ábra.** A törészónák főbb típusai a legintenzívebb deformációt elszenvedett zónájuk felépítése alapján

A nyilak a különböző típusok közötti lehetséges átmenetek irányát mutatják a deformáció intenzitásának növekedésével; 1 – törésznyaláb, 2 – fonatos-szigmoidos eltolódásos vagy feltolódásos duplex, 3 – leveles, 4 – breccsás, 5 – murvás, vetőagyagos

Now the evolutionary succession divides into two: (a) *Brecciated* structure develops by the break-up of the sigmoidals (BILLI et al. 2003; Figure 2, 3). Clay gouge often occurs in the fine-grained matrix of the breccia besides other infilling materials, the breccia pieces and grains are constituted recognisably mostly by the debris of the sigmoidals. (b) The other possibility is *flaky fault zone* (Figure 2, 4), which is constituted by several mm-thick rock sheets and very thin argillic stripes in between. The rock flakes can be considered in most cases as very intensely flattened sigmoidals that can develop by splitting the sigmoidals of the braided-sigmoidal type into pieces. The foliated or mylonitic structure that had developed during the previous deformation of the rock, as well as the petrological composition essentially influences the formation of the flaky type. So flaky fault zones typically develop in fine-grained, biotite-rich monzonitic, as well as intensely foliated rocks, while brecciated structure evolves mainly in non- or slightly ductilely deformed, relatively coarse-grained rock types. In this sense the “heritage” of a mylonitic structure into brittle deformation can be observed in a lot of places.

With further increasing the intensity of the deformation, the “flakes” do not split into thinner parts in the case of the

flaky structure but break up first perpendicularly to their long axis then parallel to it (BILLI et al. 2003). The breccia pieces also break up further into smaller fragments in the case of brecciated structures. As the process advances, the meanwhile isometric grains start rotating, the rock is deformed by so-called cataclastic “flow” (ENGELDER 1974). This is how the *rubbled* type with *clay gouge* (Figure 2, 5) evolves to be the “most developed” type of all. The rock fragments either crumble into clay fraction during the deformation or become rounded, maybe sharp-edged grains. At places the fragments of different fractions are arranged along planes parallel to the displacement (so-called C plane) or along planes closing an acute angle with it, this is how a rock structure similar to S–C foliation (PASSCHIER, THROUW 1996), known from the ductile regime, can develop in these rocks. This is called foliated clay fault gouge. The argillation of the crumbled fault gouge—as well as the usually multi-phase, often tectonically (even multiply) reworked, different hydrothermal infillings (mostly carbonates and Fe-oxides, -oxihydroxides and -hydroxides) that are almost always present in fault zones—indicate the important role of fluids moving in the zone during the deformation. This type can even repeatedly occur in the inner, most intensively deformed part of a significant fault zone.

The individually documented, narrower zones unite in lenticular, sigmoidal fault zone bundles in a lot of cases (Figure 3). So fairly intact, isolated rock bodies, very fractured rocks and—concentrating most of the deformation—fault rocks (fault breccia, cataclasite, clay fault gouge) can be found in the complex system of fault

planes that join in the fault zones. The stress field has yielded in a rather heterogeneous deformation in the given rock volume.

Fault zones can be divided into a so-called damage zone and a core zone (Figure 3) depending on the degree of deformation (CHESTER, LOGAN 1986, CAINE et al. 1996, WIBBERLEY, SHIMAMOTO 2003, FAULKNER et al. 2003). The core zone—which often includes clayey fault rocks in the Mórággy Granite—can have a transitional or sharp boundary, it is called “master fault” in the latter case. The master faults situated on both sides of the core zone are parallel to the fault zone as a rule (BILLI et al. 2003) and according to authors’ experience they are generally distinctly observable structural elements. The resultant displacement in the fault zones equals to the total displacements along fault planes next to one another.

The appearance of the brecciated, flaky or rubbled (with fault gouge) types can be connected characteristically to fault zones with distinct core zone(s).

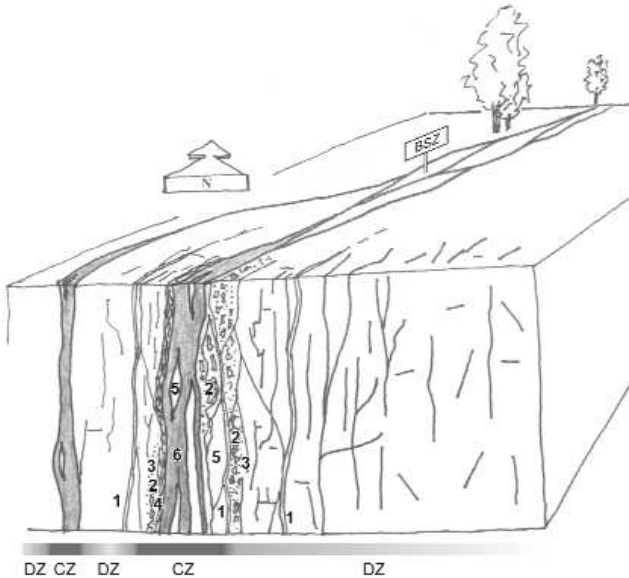


Figure 3. Theoretical model of a branch of fault zones

BSZ = branch of fault zones, CZ = core zone, DZ = damage zone; 1—infilling, 2—breccia, 3—cataclastic protolith, 4—flaky zone/„pseudomylonite”, 5—intact sigmoid, 6—foliated clay fault gouge

3. ábra. Törészónaköteg elvi modellje

BSZ = törészónaköteg, CZ = magzóna, DZ = kárzóna; 1 – kitöltés, 2 – breccsa, 3 – kataklázosodott protolit, 4 – leveles zóna/„pszeudomilonit”, 5 – intakt szigmoid, 6 – foliált vetőágyag.

Thickness Relationships of Fault Zones

The thickness relations of fault zones is illustrated by Figure 4, a), according to which the average thickness of fault zones is generally (more than 90%) is a few (<5) m. The number of zones thicker than this radically decreases towards the maximum thickness (35.5 m). A decreasing trend can also be noticed among the zones of 0–5 m thickness (Figure 4, a) which constitute the bulk of the data, towards the greater thickness, although the degree of decrease is less radical than in the case of zones thicker than 5 m. The thickness distribution tends distinctly to a logarithmic graph

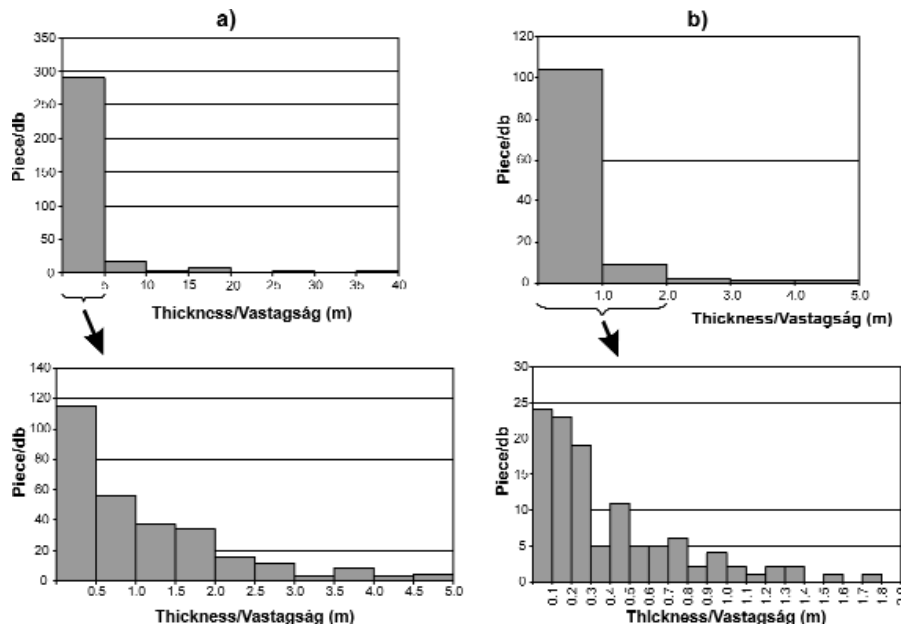


Figure 4. Thickness distributions of fault zones

a) all fault zones, b) clayey core zones

4. ábra. Törészónák vastagságeloszlásai

a) összes törészóna, b) vetőágyagos magzóna



(correlation coefficient  $R^2=0.9225$ ). The thickness relations of the clayey core zones (Figure 4, b) of the “developed” fault zones that accumulate the bulk of the deformation have also been studied besides the total thickness of the zones. The thickness distribution of clayey core zones (117 altogether) shows basically the same trend as the thickness distribution of all fault zones, so the occurrence very quickly decreases towards the greater thicknesses. The thickness of the clayey core zones is smaller than 1 m (generally a few dm) in the decisive part (>90%) of the cases; only four were thicker than 2 m. The distribution of clayey core zones narrower than 2 m (almost 97% of all data) also tends distinctly to a logarithmic graph (correlation coefficient  $R^2=0.8748$ ).

To describe the structural significance (order<sup>1</sup>) of the fault zones, a combined scale was used, which had been developed by means of experience and is based on structural criteria. One basic assumption of the classification is the thickness of a zone (>10 m—Class 1, 5–10 m—Class 2, 2–5 m—Class 3, <2 m—Class 4). The base of the other “subscale” is whether a given zone contains a distinctly distinguishable clayey–rubbed core zone that accumulates the bulk of the deformation. The fault zones that do not contain clayey core zone have been divided into two groups according to their state of development (fault bundle—Class 4, braided–sigmoidal—Class 3). The fault zones that contain clayey core zone(s) have also been divided into two groups according to the number of cores (one core zone—Class 2, more than one core zones—Class 1). The structural significance of the studied fault zones can be characterised with one single number between 1 and 4 by the combination of the two subscales (namely averaging the two values for each zone). At the same time, it seems to be important to stress that the structurally “most significant”—according to the thickness and “development” of a given zone—qualification does not necessarily coincide with the hydrogeological significance of a fault zone (e.g. Péter Fault) which is not particularly important from structural geological point of view—it merely received 2.5 points in the above scale—, plays an outstanding role in the hydrogeological system of the area).

The distribution of fault zones according to their structural significance (Figure 5) is very similar to that of the thickness distributions: the number of occurrences decreases very rapidly towards fault zones of greater importance. The number of the most significant (Order 1–2) fault zones that are thicker than 5 m and contain a clayey core zone is small, their proportion scarcely exceeds 10%. In the followings they are called first-order fault zones. The bulk of the data (88%) is constituted by zones that are less than 5 m thick and usually do not contain clayey core zone. This group can be further divided into two parts: the thickness of the second-order (significance between 2.5 and 3) zones exceeds 2 m and they often contain clayey core zones. The thickness of the least important (significance between 3.5 and 4) fault zones that lack clayey core zone is less than 2 m. There is a difference if the distributions of structural significance and thickness are

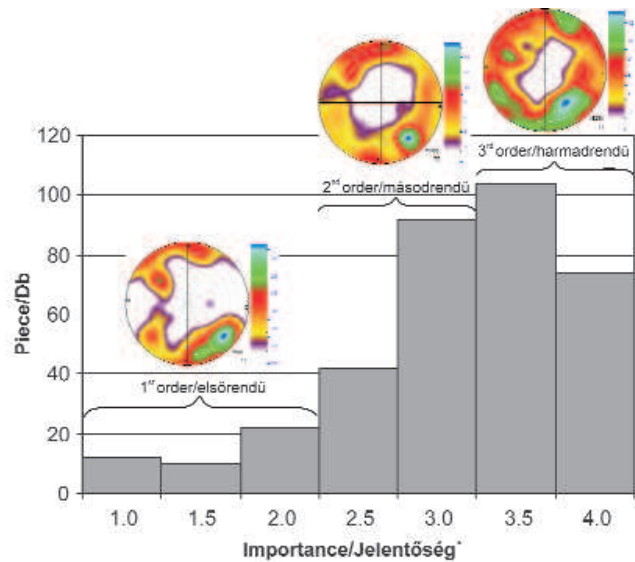


Figure 5. The distribution of fault zones of different orders based on the scale that considers the whole thickness and the “development” of the zones

The stereograms show the orientation of fault zones of different orders. See details about the scale in the text. The stereograms are in lower hemisphere projection. In the bottom right corner of the stereograms the number of data, in brackets the number of slickenlines is displayed

##### 5. ábra. A különböző rendű törészónák eloszlása a zónák teljes vastagságát és „fejlettségét” figyelembevév skála alapján

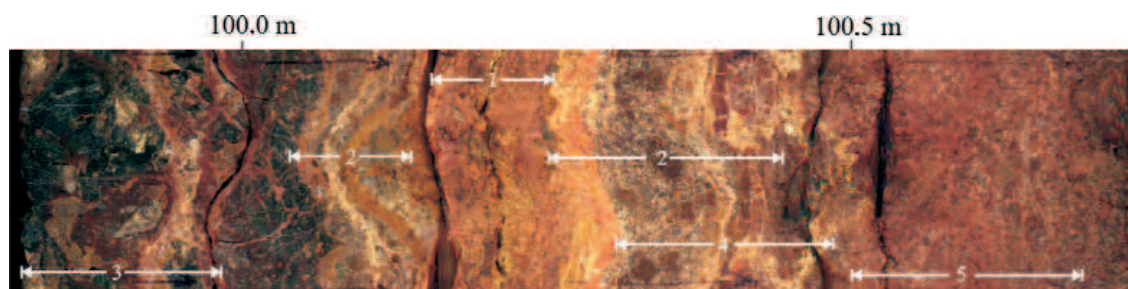
A sztereogramok a különböző rendű törészónák térbeli irányitottságát mutatják. A skála részletezését l. a szövegben, a sztereogramok alsófélgömb-vetületben készültek. A sztereogramok jobb alsó sarkában az ábrázolt adatok száma, zárójelben az ábrázolt vetőkarok száma látható

compared, namely that the quantity of the least important (Order 4) zones is smaller than that of zones Order 3 and 3.5 (the number of the narrowest zones is always the largest at the thickness distributions). The reason probably is that the classification/distinction of narrow (<2 dm) fault zones during field documentation is rather subjective. Part of these zones has been described as individual fault with thick infilling, and, on the other hand, the recognition and classification as fault zones of certain types (e.g. fault bundle) is not unambiguous in all cases. The dip distribution of the different groups is discussed in Chapter “Dip Distribution of the Fault Zones”.

### Internal Structure of Clay-gouge-bearing Fault Core Zones

In the followings—using a progressively focusing approach on selected examples—the macro- and microscale results on the internal structure and build-up of the studied fault zones will be introduced. Furthermore, an overview is also given on their most important mineralogical properties. Investigations were carried out on samples deriving from the “most evolved”, clay-gouge-bearing fault zones exposed in the tunnels, since these zones and their surroundings were mapped with a special care, furthermore this type of fault zones bears the most valuable information on the whole deformation process.

<sup>1</sup> By order size, significance now and later on are meant.



**Figure 6.** Detail of a clay-gouge-bearing fault zone from the Pilot Borehole BeK-1 (99,75–100,75 m)  
1—clay gouge, 2—zones crosscut and/or infiltrated by hydrothermal infillings, 3—breccia, 4—“hardened”, cemented clay gouge, 5—cataclasite, breccia

**6. ábra.** Murvás, vetőagyagos törésvonal részlete (99,75–100,75 m) a BeK-1 jelű vágatelőfúrásból

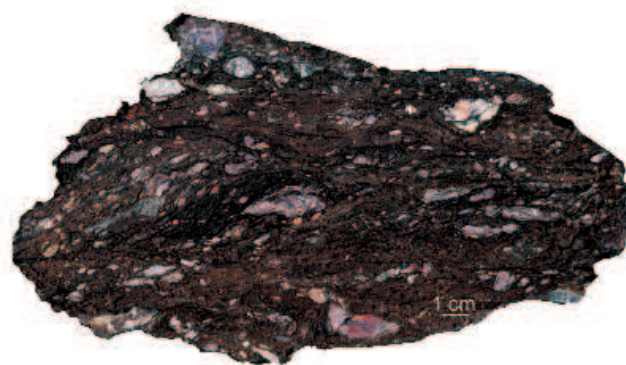
1—vetőagyagos magzóna, 2—kitöltések által átjárt és cementált zónák, 3—breccsa, 4—„felkeményedett” magzóna, 5—katakklázit, breccsa

The internal structure of these fault zones can be studied excellently in the near-horizontal pilot boreholes displaying a particularly good core recovery (Figure 6). Characteristic features of fault zones of different type introduced above appear—as it is obvious from the photo—in the discussed clay-gouge-bearing fault zone as well. The damage zone showing variable intensity of fracturing, but generally only a minor degree of mineralogical alteration is bounded first by a breccia zone, which is followed by a several decimetre thick zone cut by a larger number of veins. Next to this zone a (or in other cases: several) clay-gouge-bearing zone is exposed that accommodates the most of the deformation in the core of the fault zone. If the fault zone contains more than one clay-gouge-zone, they are generally accompanied with veins, breccias, cataclasites, or any combination of these fault rocks between the individual gouge zones. The rheological properties of the most intensively deformed clay gouges, however, may change substantially during (or after) the deformation (“strain hardening”) due to hydrothermal “cementation”. In this case the deformation—during progressive deformation—may “jump” into a new clay-gouge zone, or it can rework the previously “hardened”, infilling-rich clay-gouge zone producing mostly breccias during this process. In the drillcores and tunnels many times fault zones with several clay-gouge zones were observed, furthermore (even many times) reworked vein infillings occur also in the fault zones exposed in the outcrops. Therefore, the change of active deformation zones within an individual fault zone, furthermore the reactivation of certain faults can be regarded as a relatively frequent phenomenon in the research area.

In the followings the internal structure of the most intensively deformed clay gouges will be characterised based on microscale observations. In order to illustrate their most indicative features, a nearly vertical, E–W striking, strike-slip fault zone (so-called “Peter Fault”) was selected from the investigated, 15 most important fault zones (altogether 33 samples). This zone, acting hydrogeologically as a major barrier, was carefully mapped in the Eastern Incline in the section 1392.9–1393.9 m and in the section 1450.6–1452.1 m of the Western Incline, respectively.

In the sample studied the fine-grained, brownish, clayey matrix often contains anisometric (elongate), occasionally

sigmoid-shaped, cm-sized granitoid clasts (Figure 7), furthermore reworked clasts deriving from earlier carbonate vein infillings. The microstructure of this rock is strongly oriented that is also well-reflected in the arrangement of the often elongate granitoid clasts that show a preferred orientation according to their long axis. This fault rock formed in the brittle regime displays—as well as ductile mylonites—several foliations: one of the foliations (C planes; ca. horizontal on the photo) is parallel to the main shear planes. There is an other, also well-visible, sigmoid-shaped foliation (P) merging into the main (C) shear planes on the left side of the photo. The pattern defined by these two foliation systems is perfectly analogous with the S–C foliation formed in the ductile regime, and indicates a dextral sense of shear on the photo that corresponds to strike-slip motion regarding the original geographical orientation of the sample. The geometry of shear bands (so-called C’ planes corresponding practically to brittle, synthetic Riedel shear planes) in the upper and right side of the sample indicates dextral sense of shear, too. The high proportion



**Figure 7.** Cut surface of a foliated clay fault gouge deriving from the core zone of the Péter Fault penetrated between 1392.9–1393.9 m in the Eastern Incline

The S–C geometry of the foliation planes (left side) and the shear bands (upper part and right side) indicate dextral sense of shear in the present position. The original position of the cut surface is horizontal

**7. ábra.** Foliált vetőagyag elvágott felülete a Keleti lejtősakna 1392,9–1393,9 m között harántolt törésvonal magzózájából

A foliációs síkok S–C geometriája (bal oldalon) és a nyírószalagok (felül és jobb oldalon) jobbos nyírást jeleznek a képek megfelelő helyzetben. A minta vágott felületének eredeti helyzete vízszintes

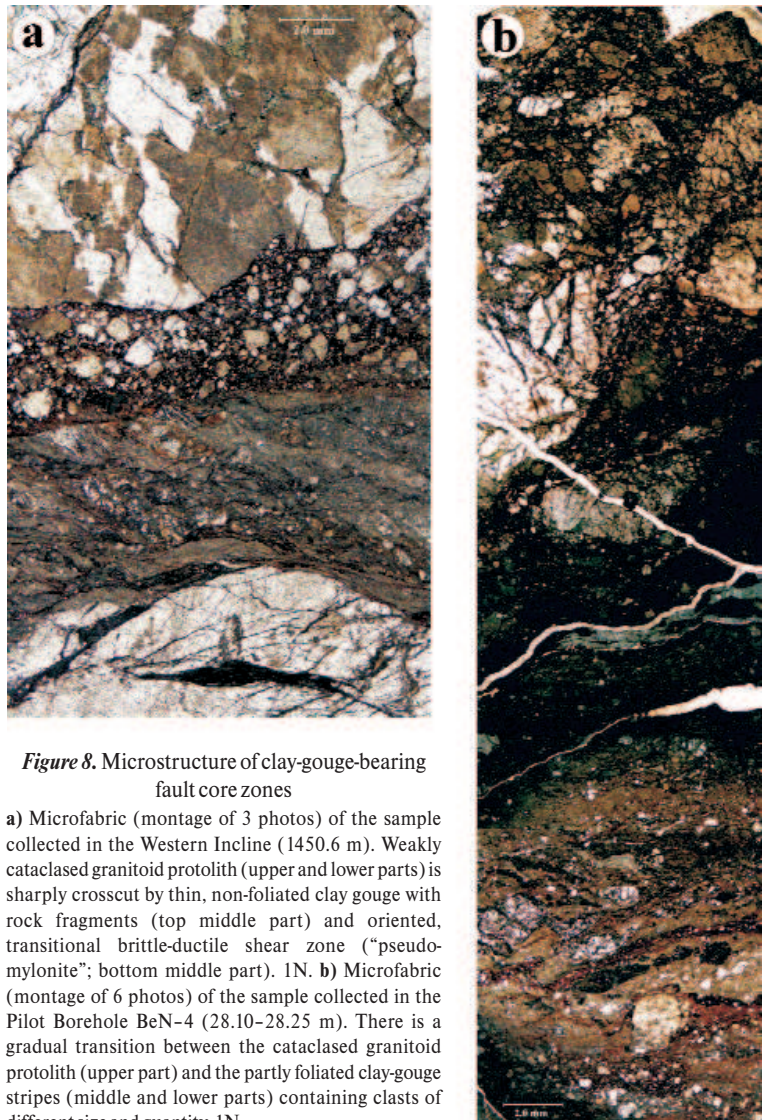
(40–50 wt%) of the fine-grained matrix containing mainly clay minerals (illite, smectite, palygorskite) and chlorite suggest intense fluid flow in the fault zone. Foliated (micro)structure was also observed in an other sample of the same fault zone collected in the Western Incline (1450.6 m). This fact indicates that the clay-gouge-bearing core zone of this E–W striking fault can be directly correlated between the two inclines.

A thin (several mm thick) clay-gouge sample (Figure 8, a) deriving from an other locality of the same fault zone can be well studied also at microscopic scale. This clay gouge containing angular, mostly isometric rock and mineral fragments does not exhibit a foliated structure. These features—both separately and together—clearly suggest a less intense deformation in this sample than it was in the previously described, foliated clay gouge. The clay gouge has a very sharp contact crosscutting the adjoining, also thin, transitional brittle-ductile shear zone (“pseudomylonite”) with oriented microstructure and frequent sigmoid-shaped rock and infilling fragments, that represents the product of an earlier deformation phase (MAROS 2006; MAROS, KOROKNAI 2009). The “pseudomylonite” may have acted as a pre-existing weakness zone affecting the deformation of the rock during the formation of the brittle fault zone. Both fault rocks have sharp contacts with the protolith crosscut by a network of fractures filled mainly by clay minerals.

The boundary between the cataclased protolith and the clay gouge is, however, not always sharp, but a more or less gradual transition can be observed in other cases (Figure 8, b). The transitional zone is characterised by fault rocks that differ in their microstructural properties (size and quantity of clasts, presence/absence of foliation). A given fault rock stripe with characteristic microstructure may appear even several times. The alternation/repetition of fault rocks with somewhat different microstructure seems to be very similar to the internal structural features of fault zones observed on larger (outcrop) scale. The sample is crosscut—both parallel and different angle to the strike of the fault zone—by different generations of fractures filled mainly by carbonates.

### Mineralogical Composition of Clay Gouges Deriving from Fault Core Zones

The mineralogical composition of clay gouges collected from fault core zones is characterised by the illite-smectite-mixed-layer illite/smectite-chlorite-palygorskite-kaolinite-



**Figure 8.** Microstructure of clay-gouge-bearing fault core zones

**a)** Microfabric (montage of 3 photos) of the sample collected in the Western Incline (1450.6 m). Weakly cataclased granitoid protolith (upper and lower parts) is sharply crosscut by thin, non-foliated clay gouge with rock fragments (top middle part) and oriented, transitional brittle-ductile shear zone (“pseudomylonite”; bottom middle part). 1N. **b)** Microfabric (montage of 6 photos) of the sample collected in the Pilot Borehole BeN-4 (28.10–28.25 m). There is a gradual transition between the cataclased granitoid protolith (upper part) and the partly foliated clay-gouge stripes (middle and lower parts) containing clasts of different size and quantity. 1N

### 8. ábra. Vetőagyagos magzónájú törésszónák mikroszerkezete

**a)** A Nyugati lejtősakna 1450,6 méterében gyűjtött minta szöveti képe (3 vékonycsiszolati fotóból összeállítva). Alul és felül a gyengén kataklázosodott granitoid-protolit, amelyet éles határral vékony, nem foliált, közettörmelékes vetőagyag (felül) és irányított szerkezetű átmeneti képlekeny-töréses nyírózóna („pszeudomilonit”; alul) szel át. 1N. **b)** A BeN-4 fúrás 28,10–28,25 méteréből vett minta áttekintő szöveti képe (6 vékonycsiszolati fotóból összeállítva). A kataklázosodott granitoid-protolit (felül) és a változó mennyiségű és méretű klasztot tartalmazó, részben foliált szerkezetű vetőagyagsávok (középen és alul) között fokozatos átmenet észlelhető. 1N

quartz-K-feldspar-plagioclase-calcite-dolomite assemblage with highly various proportion of the individual phases according to the results of numerous XRD, TA and thin section investigations. Hematite, goethite, siderite, anatase, amphibole and pyrite occur in subordinate quantities (<5 wt%) only (for details see MAROS, KOROKNAI 2009). The quantity of the individual phases can strongly vary in samples taken from different localities of the same fault zone. This is partly due to the local inhomogenities in the intensity of protolith alteration, partly to the change of the primary rock type of the protolith. The proportion of phyllosilicates (clay minerals+chlorite) varies generally between 30–70 wt%, that of quartz+feldspars amounts mostly 20–50 wt%. The proportion of carbonates usually

varies between 7–15 wt%, but in some cases it reaches even 40 wt%. Among the clay minerals the most frequent ones are illite and smectite (up to almost 40 wt%). It is common phenomenon that a certain fault zone is characterised by the predominance of one of them. Chlorite is the third most important phyllosilicate, its proportion varies generally between 5–15 wt%, but locally exceeds 20 wt%. Kaolinite and palygorskite appear only locally, their proportion is usually low (<10 wt%), although quantity of palygorskite can reach exceptionally even 20 wt% (e.g. certain samples of the Patrik Fault).

From the above mineral assemblage clay minerals and chlorite are clearly the products of mineral transformations of the protolith caused by intense fluid flow, while K-feldspar and plagioclase represent the relict phases of the granitoid protolith. Quartz can form both relict and neoform phase. Carbonates (calcite, dolomite, and siderite) are clearly neoform phases precipitated from fluids. Thus, the high proportion of clay minerals+chlorite (>50–60 wt%) indicates intense alteration of the host rock, while the relatively high proportion of quartz+feldspars (>40 wt%) mostly suggests a smaller degree of alteration. The considerable amount of carbonates is not necessarily associated with intense clay rock alteration.

### The Map-scale Pattern of the Fault Zones

The *map-scale pattern* of the fault zones and the important individual faults in the tunnels and their close vicinity is shown in Figure 9. The map has been projected to the 2 m level plane in the tunnels. The dip of this plane is about 10% along the inclines ( $\approx 1750$  m) that means about 5.7°. The altitude of the projection plane is 155 m at the entrances and reaches 0 m by the end of the inclines.

The reliability of the map is guaranteed by the continuous presence of geologists and the fairly cautiously designed mapping methods (GYALOG et al. 2010), but at the same time, the detailed mapping of the fault zones became difficult in a number of cases or became impossible in a few cases precisely because of safety reasons.

Basically two types of brittle structural elements are distinguished on the tunnel map. The individual but in this scale still distinctive faults are marked by black, the fault zones that can be correlated are marked by red in tunnel areas and green in deep borehole and exploratory trench areas. The red individual fault zones correspond to the characteristic boundary faults of zone sections that show the most significant deformation, fault gouge(s) in numerous cases, in the fault zone (master faults if core zone is present). The determined kinematics along the individual zones and the correlated faults is indicated near the relevant elements. These data have been measured on the given plane or on elements of a fault bundle and their near vicinity (1–2 m distance).

It can happen that a blackly marked fault continues in a red fault zone. The reason for this can be either the lack of

adequate number of observations or the natural termination of the fault zone. The fault zones in the ground-based deep boreholes and pilot boreholes have been plotted on the projection plane with the measured dip direction. All three, differently coloured data groups have been correlated. The so-called “superzones” of fault zone bundles (numbered between 1–20) that can be correlated to the largest distances have been separated. The correlation naturally also includes conceptual elements, since the individual faults and fault zones can be connected only with a certain probability between the tunnels (25–50 m) and between the boreholes, exploratory trenches and tunnels ( $\approx 100$ –200 m). For the correlation between the tunnels it was supposed that—generally within a few m-zone—the individual faults and fault zones form a braiding (see Figure 3). The reliability of the correlation is supported by the structural experience obtained during the borehole exploration (MAROS et al. 2003) and the mapping (GYALOG et al. 2006) of the area, the structural model compiled on the grounds of them (MAROS et al. 2004, MAROS 2006) and the observations about the relation among the structural elements in the tunnels. The correlation was supported by 3D modelling (MAROS et al. 2009). Although the correlation of hydrogeology with the structural elements is not subject of this paper, the zones showing the greatest hydrogeological damming-isolating zones, zone-bundles are coloured purple.

Fault zones can be considered fairly frequent structural elements in the research area if the experience of the 1:10 000 scale geological-structural mapping in the NE part of the Mórógy Block (GYALOG et al. 2006) and the observations in the tunnels are taken into consideration. On the basis of the introduced map and the structural observations in the environment (MAROS, KOROKNAI 2009) it can be stated that the distance between the first-class (several m thick, distinctly traceable longitudinal, generally with clayey core zone), mostly NE–SW striking (so-called longitudinal) and E–W striking fault zones is about 500 m, while the distance of zones of less importance is approximately 50–100 m in this smaller ( $\approx 2 \times 3$  km) segment of the Mórógy Granite. The presently available data are not enough to take sides whether the above observations can be considered valid for the whole pluton.

### Dip Distribution of the Fault Zones

There is a problem of how to choose the concrete fault(s) that represent(s) most precisely the spatial situation of the whole complex fault zone, which contains numerous faults of different orientation, during the determination of the *orientation of fault zones*. According to authors' experience, the generally fairly distinct master faults that border the clayey core zones can be considered the most certain reference. So the orientation of the metre(s)-thick, more significant fault zones was determined from the orientation of the master faults (or for lack of them: the characteristic faults) during the documentation of the outcrops,

exploratory trenches and tunnels in the area. If the master faults were undulating, the average of their orientation was taken. In the case of the orientation of fault zones crossed in the tunnels, an excellent independent control was offered by the correlation between the tunnels running parallelly close to each other, besides the *in situ* structural measurements. The situation is much more complicated in the case of the boreholes, since core recovery is usually insufficient from fault zones, so complex methods are needed to be applied here (MAROS et al. 2003, MAROS 2006, ZILAHÍ 2000), but the determination of the orientation was possible also with the help of master faults.

The orientation of altogether 323 fault zones was determined in the research objects of different types. The ground-based boreholes and the tunnels represent about the same quantity of data (101 and 133 respectively), while 58 zones were documented in outcrops and 30 in exploratory trenches. The steep, longitudinal (approximately NE–SW striking), mainly NW dipping fault zones are predominant in the total distribution (Figure 10, a), while the secondary maximum is represented by nearly vertical, E–W striking, mostly S dipping zones. Besides, a tertiary—rather blurred—maximum is given by NW–SE striking (so-called transversal), generally steep NE dipping fault zones. Finally, N–S striking zones occur relatively subordinately, they are partly steep (60–80°), partly quite low-angled (30–50°) and dip mostly to W. The primary maximum is given also by NE–SW striking (mainly NW dipping) zones (Figure 10, b) in the *ground-based boreholes*. The E–W and N–S striking fault zones are substantially less important. The subordinate role of transversal (NW–SE) fault zones is remarkable. In the *outcrops* the main maximum is also given by approximately longitudinal fault zones, half of which dipping to SE, half to NW (Figure 10, c). The longitudinal, rather blurred

maximum is distinctly visibly made up of two submaxima: a WSW–ENE (mostly SSE dipping) and a NNE–SSW striking maxima. Not much behind the longitudinal primary maximum succeeds the transversal fault zones with rather scattered dip directions and steep NE dip. To sum up, it can be stated that the main maxima of the fault zones observed in the boreholes and outcrops situated in a fairly large area reflect the two most important orientations of individual faults (BALLA et al. 2008: Figure 155).

The distribution of the fault zones in the *exploratory trenches* (Figure 10, d), which refer to substantially smaller subareas, also the steep, approximately longitudinal zones predominate as a whole, but the transversal zones with rather scattered dip directions are also important. At the same time, the distribution patterns of the two exploratory trenches are strikingly different, they completely follow the distribution patterns of the individual faults (BALLA et al. 2008: Figure 155). While NE–SW striking, mostly SE dipping and about perpendicular (N)NW–(S)SE striking zones rule in Trench A1, in Trench A2 approximately ENE–WSW striking fault zones dominate with NW dip direction with NW–SE and E–W striking ones also appearing in smaller number.

Two, roughly equivalent maxima can be noticed in the distribution of fault zones mapped in the *tunnels* (Figure 10, e). The most striking maximum is shown by approximately E–W striking, mostly S dipping zones with longitudinal, NW dipping fault zones, parallel to the Mecsek-alja Zone, lagging slightly behind. The transversal (NNW–SSE striking), mainly steeply ENE dipping fault zones give a smaller but still significant maximum. NW–SE striking fault zones cannot be distinguished as a separate maximum in the stereogram, the fault zones belonging to this group “hide” in the “blurred” maxima of the NNW–SSE striking fault zones. Finally, a steep (60–80°) and a low-angled (35–60°) group,

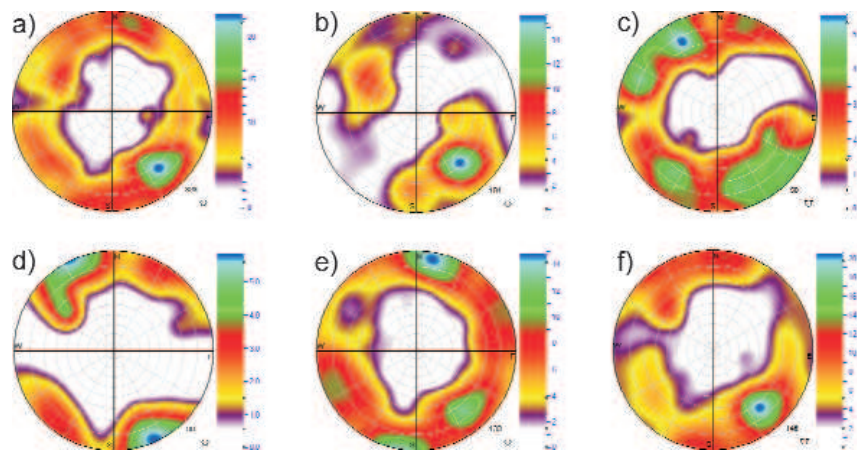


Figure 10. Pole distribution diagrams of fault zones

a) total distribution, b) ground-based boreholes, c) outcrops, d) exploratory trenches, e) tunnels (together with the pilot boreholes), f) clay-gouge-bearing fault zones; the stereograms are in lower hemisphere projection; in the bottom right corner of the stereograms the number of data is displayed

10. ábra. Törésvonalak pólussűrűségi diagramjai

a) összesített eloszlás, b) felszíni fúrások, c) feltárások, d) kutatóárok, e) lejtősaknak (a vágatfúrásokkal együtt), f) vetőágyagos magzónával rendelkező törésvonalak; a sztereogramok alsófélgömb-vetületben készültek; a sztereogramok jobb alsó sarkában az ábrázolt adatok száma látható

both of about N–S strike appear with less significant maxima.

As was mentioned earlier, the individual, smaller fault zones, observed in the tunnels, can usually be treated as parts of a greater “superzone”. Out of the such created 20 “superzones” (Figure 9) 7 are longitudinal and 7 transversal, 4 are E–W and 2 are N–S striking. The approximately longitudinal and transversal “superzones” both can be further divided into two subgroups: the longitudinal ones into subgroups with a ENE–WSW (4) and a (N)NE–(S)SW (3) strike, the transversal ones into subgroups with a NNW–SSE (5) and a WNW–ESE (2) strikes. The significance of this geometry—which, as it was seen, can be recognised in the distribution picture of the individual fault zones documented in the different research objects—will be discussed at the kinematic evaluation of the fault pattern.

Because of their structural importance, the distribution of the *clay-gouge-bearing fault zones* (Figure 10, f) was examined separately besides the distribution of the fault zones occurring in the different exploration objects. The main maxima in their distribution pattern and their succession basically agree with that of all fault zones: longitudinal zones (about NE–SW) predominate with the other main orientations characteristic of the area (E–W, transversal, N–S) being also present. The secondary and tertiary maxima, however, are noticeably smaller than in the distribution of all fault zones. In other words: longitudinal fault zones are considerably more frequent among the clay-gouge-bearing fault zones than among all the zones. This throws light on the fact that the approximately NE–SW direction played a prominent role also during the brittle deformation, as it was determinative during the magmatic and ductile structural evolution of the Mórógy Block.

If the spatial orientations of the above discussed *fault zones of different orders* (Figure 5) are compared, similar characteristic features can be recognised: longitudinal zones clearly predominate in all distributions, and besides, the approximately E–W striking, the transversal (approximately NW–SE striking) and the approximately N–S striking fault zones appear everywhere. Differences appear first of all in the relative significance of the secondary and tertiary maxima, as well as in their succession. It is worth mentioning that the N–S zones play a subordinate role among the significant zones.

The following fault groups can be regarded as determinant in the brittle model of the exploration area on grounds of all these data and the several ten thousand individual faults:

Longitudinal (about NE–SW,  $\pm 10^\circ$ ), commonly 70–85° dipping planes approximately parallel to the magmatic and metamorphic structures of the area, with ENE–WSW striking planes being also important.

Transversal NW–SE and NNW–SSE striking, nearly vertical fault systems that probably crosscut the longitudinal fault system.

E–W and ESE–WNW striking nearly vertical fault system. In the tunnels this direction is more frequent in the

distribution of faults bearing slickenlines than in that of individual faults.

The N–S fault system has subordinate importance. The dip angles significantly vary here. Nearly vertically dipping zones and faults occur, but a low-angled, 35–55° dipping group is also characteristic.

There are also local distribution patterns besides the above mentioned generally characteristic fault pattern, where certain maxima are locally stronger. This indicates that smaller deformation units (structural domains) developed in the area. For example, the difference between local distribution patterns can be distinctly noticed in the data of the two exploratory trenches, which represent quite small areas. Such is the case with the E–W strike maximum of the fault zones in the environment of Kismórógy and in the quarries near Mothers’ Spring (Anyák-kútja). The total picture of the tunnels (BALLA et al. 2008: Figure 250) which were mapped in about 2 km length, is also put together of smaller (a few 100 m) significantly differing blocks: transversal faults and fault zones predominate in the first 400 m, the E–W striking system dominates between 400 and 650 m, the longitudinal system appears spectacularly between 650 and 1250 m, an E–W striking system can be observed down to the end of the inclines (approximately 1700 m), then again longitudinal and transversal structures appear in the horizontal tunnels of the so-called Small Loop and Large Loop. So, in this sense, even the fault system of the tunnels, which represent a rather small area, varies and can be divided into subsystems. The general characteristic features in the distribution of faults within a relatively small rock body compared to the whole pluton can be extended to the whole granite body only if it is assumed that the brittle structures have a fractal distribution.

### Kinematic Model of the Fault Zones

The determination of the kinematics of the displacements in fault zones was impossible in most cases for want of slickenlines and other markers showing the direction of the displacement. The character of displacement could be determined (with more or less certainty) in about third of the fault zones (BALLA et al. 2008: Appendix VIII). As for the amplitude of the displacements, it is extraordinarily difficult to quantify it because of the amount of identifiable markers being negligible. Where markers occurred (usually leucocratic dykes), dm-sized displacements seemed to be the most common, and sometimes metre-sized displacements could be suspected. Nevertheless it can be assumed that substantially larger (several 10s m, maybe about 100 m) displacements could accumulate in certain fault zones, but no direct observation is at hand concerning this. To determine the maximum displacement, however, can be continued by the fact that no visible displacement affected the Mecsekalja Zone (at least in map scale); this indicates that no significant displacement happened along fault zones, striking NW–SE, NNW–SSE, N–S, that close great angles with the Mecsekalja Zone

The slickenlines measured in the ground-based deep boreholes and outcrops had been evaluated in a previous work (MAROS et al. 2004) in detail and 10 paleo-stressfields had been separated. Although the number of measured slickenlines has increased largely during the explorations done since then, only slickenlines and displacements closely connected to the fault zones in this paper are discussed. The kinematic model of the displacements and the origin of the fault zone pattern are outlined with brittle phases much less than earlier on grounds of the significant structural directions. It must be stressed that the following train of thought is based purely on geometrical considerations. The principle of Ockham's razor will be followed, which states that the simplest adequate solution has to be strived for.

The starting-points are the following:

1. The dip angle of the fault zones is steep in most cases.
2. The fault zones constitute braids, deformation lenses, sigmoids, geometrically strike-slip duplexes.
3. Most of the slickenlines show strike-slip or oblique strike-slip character; in the latter group oblique inverse slickenlines occur frequently.
4. Several slickenlines, often of opposite characters could be observed within a zone or even on the same fault plane, so faults could be multiply reactivated.
5. Most of the presently observable slickenlines were presumably formed during the younger movements.
6. The granite pluton is considered as a rather rigid body compared with its environment; this means that in spite of the fact that the direction of the stressfield changes, the renewal of old faults involves less energy investment than the creation of new ones.

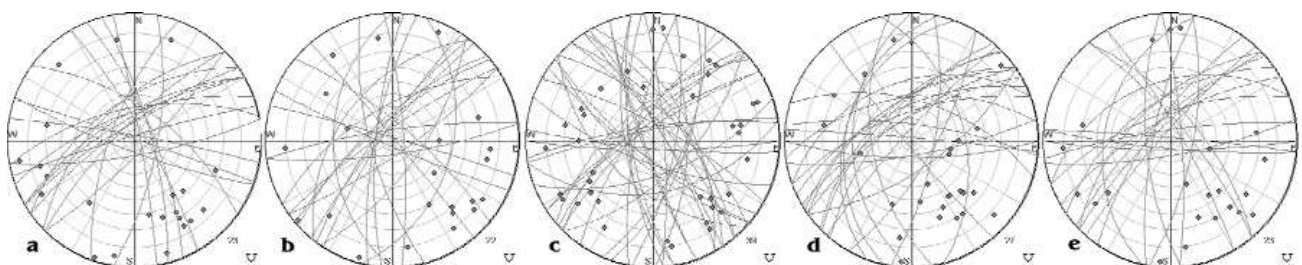
It follows that the kinematic evolution history of the area has to be modelled basically by strike-slip and in at least one phase transpressional strike-slip stressfields.

The planes bearing the measured slickenlines can be seen in Figure 11 according to their character.

Sinistral and oblique sinistral slickenlines (Figure 11, a) were measured mostly in the longitudinal, subordinately in the N–S striking zones. The distribution of dextral slickenlines (Figure 11, b) shows a more various picture (no oblique dextral slickenlines occur): all main directions can

be found, but the longitudinal direction predominates again. In the distribution of normal slickenlines (Figure 11, c) the longitudinal and transversal planes dominate, but the N–S striking ones are also important with the E–W planes being subordinate. It is striking in the distribution of the inverse and oblique inverse displacements (Figure 11, d) that transversal planes are missing, and the N–S and E–W striking planes appear besides the longitudinal ones. The distributions clearly show that displacements of opposite character could often happen along planes of the same orientation, this is illustrated by Figure 11, e, which shows zones containing different slickenlines. This is the unambiguous proof of the renewal of the fault zones. It has to be stressed again that deformation took place along undulating, lenticular-sigmoidal planes, so local normal and inverse faults have to be taken into account, oblique strike-slips along bended surfaces despite the fact that the main displacement was horizontal along the zone. The brittle deformation caused by cooling during the intrusion of the pluton and the stressfields that controlled the intrusion of the leucocratic dykes and formed the foliations and folds are not discussed in this paper, these had been discussed in previous papers (MAROS et al. 2003, KOROKNAI 2003, MAROS et al. 2004, MAROS 2006, KOROKNAI 2009) in detail. All these deformations preformed the deformations of subsequent phases. It seems probable, for example, that the pure shear and simple shear stressfields resulting in the foliations had left brittle deformation after them, too and caused—if NW–SE pressure is assumed— $\approx$ N–S sinistral,  $\approx$ WNW–ESE dextral displacements besides NW–SE normal and NE–SW inverse faults.

The clockwise rotation of the Tisza Unit in the Tertiary has to be taken into account during the discussion of the brittle deformation history by all means. According to palaeomagnetic data, MÁRTON and MÁRTON (1999) determined an average  $60^\circ$  for the rotation. The mutual geodynamic influence of the rotation and the Tertiary (Neogene) stressfields on the wider environment (Mecsek–Villány, Pannonian Basin) has been analysed in several works (CSONTOS et al. 1991, FODOR et al. 1999, CSONTOS et al. 2002b), and a number of stressfield were



**Figure 11.** Fault planes with slickenlines in the fault zones and their close vicinity

a) sinistral, oblique sinistral, b) dextral, c) normal, oblique normal, d) inverse, oblique inverse, e) fault planes bearing various slickenlines; the stereograms are in lower hemisphere projection; in the bottom right corner of the stereograms the number of data is displayed

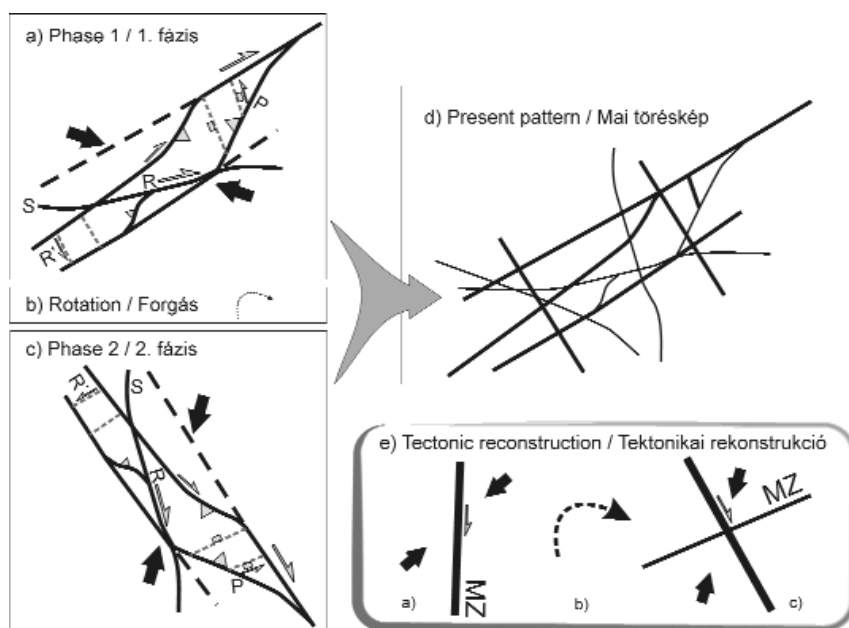
**11. ábra.** Vetőkarcok síkjai a törészónákban és közvetlen közelükben

a) balos, ferde balos, b) jobbos, c) normál, ferde normál, d) inverz, ferde inverz, e) többféle vetőkarcot tartalmazó síkok; a sztereogramok alsófélgömb-vetületben készültek; a sztereogramok jobb alsó sarkában az ábrázolt adatok száma látható

determined, especially on grounds of structural examinations in sedimentary rocks, in these works. The time separation of the individual brittle phases cannot be done directly in this case, and the Mesozoic phases are not discussed in the above works, so their results are treated as analogous data that help refine the model, and the identification of the phases with the structural evolution of the granite pluton cannot be certainly done. So in this paper a much simpler (Figure 12) model has been worked out, which can be looked upon as a structural frame for more elaborated stressfield analyses, including the possible further development of an earlier work (MAROS et al. 2004).

The post-ductile structural model is based fundamentally on two main deformation phases (Figure 12, a and c, cf. Figure 9 and 11). Both deformations are dextral strike slips, the later developed in transpressional stressfield. The progressive strike-slip structure in Figure 12, a-n is supposed to be older (Phase 1), it is supposedly Mesozoic. The model explains the most characteristic, longitudinal fault pattern in the area with great reliability. The connecting P faults can be noticed in a number of cases on the map (Figure 9), and they distinctly separate from the main longitudinal planes also in stereogram (e.g. Figure 10, c). They show also dextral, oblique inverse or oblique dextral character of displacement. If they approach N-S strike direction, they are clearly inverse faults (Figure 11, d,

cf. Figure 10, a and b). The antithetic Riedel faults are sinistral and do not cross the deformation lenses. The R faults joined to the S faults constitute the E-W and WSW-ESE directions with dextral displacement. In the direction of the compression and also in the tension gashes normal faults evolve with  $\approx 30^\circ$  difference compared to the E-W and WSW-ESE directions. Phase 2 is shown in Figure 12, c. Its age was determined as Tertiary but can even be connected to the recent (HORVÁTH et al. 2005) stressfield. The clockwise rotation of the area took place between the two phases (Figure 12, b). In Phase 2 the transversal NNW-SSE striking zones are considered to be the main displacement directions with dextral character; the P faults are represented by the WNW-ESE striking zones, which are also dextral. The S and R faults are represented by the bent, flattened S-shaped N-S zones, again with dextral displacement. The previously main longitudinal shear zones become antithetic Riedel faults (R') in this system with sinistral character. The nearly E-W fault zones renew as inverse or inverse dextral displacements. Normal faults appear in approximately NE-SW direction. This model covers most of the fault groups bearing slickenlines (Figure 11), the only exceptions are the N-S and E-W normal slickenlines. The former can be fit into the first, the latter into the second phase with a  $20-25^\circ$  error, which can be explained by the supposition of deformation lenses.



**Figure 12.** Kinematic model and tectonic reconstruction on grounds of the observed geometric and kinematic features of the fault zones

a) Phase 1: Variscan or Mesozoic dextral system, b) clockwise rotation, c) Phase 2: post-rotation dextral system, d) resultant fault pattern of the area, e) reconstruction of the main tectonic events; dashed arrow = rotation of the Tisza Unit, R = synthetic Riedel fault, R' = antithetic Riedel fault, P = P fault, S = splay fault, MZ = Mecsekajka Zone

**12. ábra.** Kinematikai modell és tektonikai rekonstrukció a törészonák megfigyelt geometriai és kinematikai észlelései alapján

a) 1. fázis: variszkuszi vagy mezozoos jobbos rendszer, b) óramutató járásával megegyező irányú forgás, c) 2. fázis: forgás utáni jobbos rendszer, d) a terület eredő törésmintázata, e) a legfőbb tektonikai események rekonstrukciója; szaggatott nyíl = a Tiszai-egység forgása, R = segítő Riedel-törés, R' = gátló Riedel-törés, P = P-törés, S = kihajló törés, MZ = Mecsekajka-öv



The model explains a number of so far seemingly controversial phenomena in the area: 1) slickenlines of opposite or—according to the dip angle of the plane—surprising character on the same fault surface, 2) the renewal, as well as 3) the longitudinal zones are crosscut mainly by the transversal but even by the N–S and E–W striking faults. The two phases have resulted in a fault zone pattern (Figure 12, d), which is in good agreement with the map pattern of the fault zones (Figure 9). Figure 12, e introduces the main stages of the outlined geodynamic evolution of the area.

It should be emphasised that most probably other deformation fields have also left their marks in the area (including e.g. a longitudinal sinistral strike-slip system that would explain the orientation distribution of the Cretaceous alkaline volcanite dykes [KOROKNAI, GULÁCSI 2006]). The uplift of the Southern Transdanubian basement blocks can be supposed to happen as sinistral or compressional structures in the recent-subrecent stressfields as far as the directions of the compression and the situation of the longitudinal large zones (e.g. Mecsekajka Zone; WEIN 1965, TARI 1992, CSONTOS et al. 2002a) are known. It must be stressed that the longitudinal, clay-gouge-bearing fault zone bundles can be so “prepared” for deformation by this time that the strike-slip duplexes that are necessary for the uplift, but even the purely compressive uplifts, can be easily formed only within these zones. This leads to an important conclusion concerning the disposal of radioactive waste: the E–W striking zones have been under compression or transpression in the young and recent stressfields, so they are tightly closed for waterflow. They often crosscut the fault zones of other strikes owing to the multiple renewal and commonly have clay-gouge-bearing core zones. Taking all this into consideration, this is how the recently observable significant damming-isolating effect could have developed along certain E–W striking fault zones (“Klára”, “Péter” and “Zoltán Fault”). It seems to be unimportant from hydrogeological point of view that occasionally these zones can be crosscut by other, also clay-gouge-bearing fault zones characterised with small displacements.

Another hydrogeological deduction arises. The fault that is interpreted as a P fault connected to the “Patrik Fault” is one of the most significant conductive zone. During Phase 1 and 2 opposite displacement took place along this zone. The longitudinal fault zones often close these faults—that are connecting elements between them to channel deformation—and work as terminations of the P faults at the same time. So a slight rotation happens along them during displacements, which results in openings along the P faults. This causes these faults to be conductive but only up to the joining points with the longitudinal faults. Consequently, flow is restricted sidewise and will rather follow vertical paths instead. Authors’ hydrogeological conclusions are in accordance with the model of BENEDEK et al. (2009), in which waterflow takes place in a system of rock blocks that are put beside one another like mosaics, have different conductivity and hydraulically communicate only restrictively with one another.

## Radiometric Dating

Illite-rich fine fractions (<10, <2, and <1  $\mu\text{m}$ ) were separated from clay-gouge samples deriving from most strongly deformed fault core zones, which—following the determination of the mineralogical composition by the XRD method—were analysed in the Institute of Nuclear Research (Debrecen) to obtain K–Ar age data. The results are summarised in Table 1, which also contains the previously published age data (KOVÁCS-PÁLFFY, FÖLDVÁRI 2004), as well as the polytypic variety and FWHM (full-thickness-at-half-maximum, which corresponds roughly to the so-called Kübler index; for details see GUGGENHEIM et al. 2001) values of illite as determined from the illite-rich fine fractions.

In the samples studied the polytypic variety of illite is predominantly 1M that appears relatively rarely according to the literature. Its formation is clearly connected to hydrothermal processes (PEACOR et al. 2002, HAINES, van der PLUIJM 2008). Beside the prevailing polytype 1M the subordinate presence (several wt%) of the polytype 2M<sub>1</sub> can be assumed in some samples (although not to confirm unambiguously), and in two cases the polytype 1M<sub>d</sub> also appears. The polytype 2M<sub>1</sub> appears as a clearly identifiable, separate phase (consequently in a relatively considerable proportion) only in two samples. The polytype 1M<sub>d</sub> represents practically the more disordered variety (displaying fewer reflections) of the polytype 1M, its formation may be connected to the low-T alteration of the polytype 1M. The polytype 2M<sub>1</sub>, characteristic of metamorphic rocks, may derive from the biotite of the granitoid protolith, or from muscovite formed by the metamorphic transformation of primary magmatic biotite, although its hydrothermal origin—as well as in the case of polytype 1M<sub>d</sub>—is also described in the literature (LONKER, FITZGERALD 1990).

The FWHM values of 1M illite could be determined in 9 cases of the dated 16 samples, the data scatter in a rather large range ( $\Delta^2\Theta$ : 0.55–1.02). In the rest of the samples (7 cases) the FWHM values of illite could not be determined separately because of the considerable amounts of mixed-layer illite/smectite (locally smectite as well). Because of the presence of overlapping peaks only a “joint” FWHM value of illite-illite/smectite ( $\pm$ smectite) can be obtained in these samples that range between 2.0 and 4.5. The large amount of mixed-layer illite/smectite ( $\pm$ smectite) may indicate the low-T transformation of primary illite.

Considering the FWHM values of 1M illite determined in 9 cases two subgroups can be distinguished: one of the subgroups contains the four samples of the borehole Üh–1 that represent also a spatially separate group of samples. The FWHM values are here relatively low ( $\Delta^2\Theta$ : 0.55–0.68); this suggests a discrete, practically unaltered (or only minimally altered) illite structure. These  $\Delta^2\Theta$  values are characteristic of the diagenetic zone formally.

In the other subgroup (samples deriving from the boreholes Üh–2, Üh–5, Üh–22 and Bp–1) the FWHM values are considerably higher ( $\Delta^2\Theta$ : 0.75–1.02); this tends to show the transformation of illite.

Table 1. Overview on the K-Ar ages obtained on illite-rich fine fractions deriving from clay-gouge-bearing fault core zones, furthermore on polytypism and FWHM values of illite

Sample locality	Depth (m)	Size fraction ( $\mu\text{m}$ )	Polytypism	FWHM ( $\Delta 2\theta$ )	K (%)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (cc SIP/g)	$^{40}\text{Ar}$ (%)	Measured age (Ma $\pm \sigma$ )	Geological age	Geological position of the sample
Borehole Üh-2	367.1–367.7	<10	1M	1.02	6.41	$1.913 \times 10^{-5}$	68.7	$75.2 \pm 3.0^{**}$	Late Cretaceous	transversal (50;80°), thick ( $\approx 25$ m), major fault zone (superzone 20)
Borehole Üh-22	182.60	<2	1M	0.88	5.80	$2.482 \times 10^{-5}$	90.2	$106.9 \pm 4.1^{**}$	Early Cretaceous	longitudinal (315;160°), important ( $\approx 5$ m), dextral-inverse fault zone (Tz22-7)
	278.10	<2	1M (2M)	0.98	4.35	$2.047 \times 10^{-5}$	89.3	$117.2 \pm 4.5^{**}$	Early Cretaceous	approx. longitudinal (340;65°), minor ( $\approx 3$ m), sinistral-inverse(?) fault zone (Tz22-11)
	298.3	<1	1M 2M	—**	3.86	$1.027 \times 10^{-5}$	65.9	$67.1 \pm 2.7$	Late Cretaceous	“transitional” (345;75°), important ( $\approx 5$ m) fault zone (Tz22-12)
Borehole Üh-5	107.03	<10	1M 2M	0.82	4.60	$3.245 \times 10^{-5}$	84.8	$172.9 \pm 6.6^{**}$	Middle Jurassic	minor ( $\approx 3$ m) fault zone (Tz5-2) with unknown orientation
	346.10	<2	1M (1M)	0.56	6.33	$4.941 \times 10^{-5}$	88.3	$190.3 \pm 7.2^{**}$	Early Jurassic	strike-slip fault zone with unknown orientation
	343.90	<2	1M (1M, 2M)	0.68	7.27	$6.285 \times 10^{-5}$	93.9	$208.8 \pm 7.9^{**}$	Late Triassic	
345.70	<2	1M	0.55	6.29	$5.580 \times 10^{-5}$	95.4	$215.0^{**}$	Late Triassic		
Borehole Üh-1	349.90	<2	1M	0.61	7.25	$6.900 \times 10^{-5}$	96.6	$229.7 \pm 8.7^{**}$	Middle Triassic	strike-slip fault zone with unknown orientation
	501.2	<2	1M	—*	3.08	$1.486 \times 10^{-5}$	70.4	$119.9 \pm 3.8$	Early Cretaceous	
	505.9	<2	1M (2M)	—**	3.56	$1.835 \times 10^{-5}$	73.6	$128.0 \pm 4.0$	Early Cretaceous	
Eastern Incline	507.8	<2	1M (2M)	—**	1.97	$1.032 \times 10^{-5}$	22.8	$129.8 \pm 8.0$	Early Cretaceous	E-W-striking (10;85°), thick ( $\approx 20$ m), dextral(?), major, damming-isolating fault zone (Klára Fault, superzone 5)
	510.0	<2	1M	—**	4.74	$2.835 \times 10^{-5}$	68.5	$125.0 \pm 4.0$	Early Cretaceous	
Eastern Incline	1392.9	<1	1M	—**	2.57	$9.230 \times 10^{-5}$	62.2	$90.0 \pm 3.6$	Late Cretaceous	E-W-striking (185;85°), thin ( $\approx 2$ m), damming-isolating, sinistral(?) fault zone (Peter Fault, superzone 11)
Interconnecting Passageway 7	$\approx 1738.5$	<1	1M	—**	2.41	$7.546 \times 10^{-5}$	34.1	$78.7 \pm 4.0$	Late Cretaceous	transversal ( $\approx 40$ ;76°), minor ( $\approx 2$ m), dextral(?) fault zone (70K-1)
Underground Borehole Bp-1	71.4	<1	1M (2M)	0.75	4.89	$3.292 \times 10^{-5}$	75.1	$165.2 \pm 6.4$	Middle Jurassic	E-W-striking (185;84°), minor (1–2 m) fault zone (Bp-1-2)

\* FWHM values of 1M illite could not be determined separately because of the considerable amounts of illite/smectite,  $\pm$ smectite. (Formally:  $\Delta 2\theta > 2.0$ ).

\*\* Data published by Kovács-Pálffy, Földvári (2004). (2M), (1M d). Assumed polytype present only in subordinate quantity (several wt%).

K–Ar ages obtained on illite-rich fine fractions are exclusively Mesozoic, most of them (10 cases of the 16 samples) belongs to the Cretaceous, furthermore there are also three Triassic and three Jurassic ages (Table 1). The K–Ar ages display a clear younging trend with the increasing FWHM values of illite (Figure 13). This relationship is unfortunately not to study in the case of those 7 samples (deriving from the Eastern Incline, Interconnecting Passageway 7 and the Borehole Üh–22), which exhibit extremely high FWHM values ( $\Delta^2\theta > 2.0$ ). These samples define a separate group, where only a “joint” FWHM value of illite–illite/smectite ( $\pm$ smectite) can be obtained.

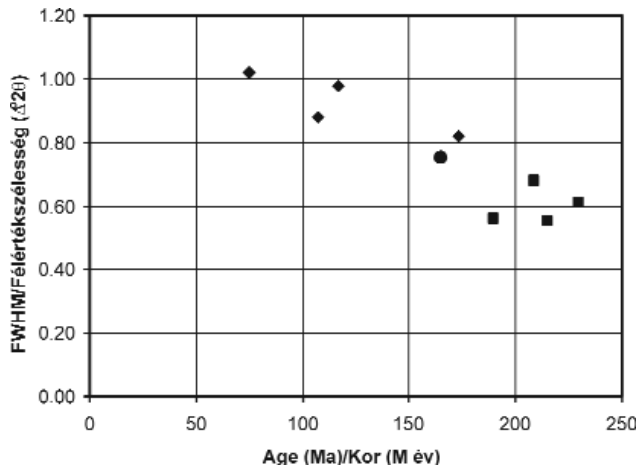


Figure 13. Relationship between K–Ar ages on illite-rich fine fractions and FWHM values of illite

Square = Üh–1, circle = Bp–1, rhomb = Üh–2, Üh–5, Üh–22

13. ábra. Az illitdús finomfrakciókban meghatározott K–Ar-korok és az illit-félértékszélességek kapcsolata

Négyzet = Üh–1, kör = Bp–1, rombusz = Üh–2, Üh–5, Üh–22

Considering the results from an analytical point of view, the followings must be encountered:

—The most reliable ages are those ones in the case of which the samples contain discrete illite, furthermore there is no (or only negligible amounts of) mixed-layer illite/smectite or smectite.

—In the samples containing considerable amounts of mixed-layer illite/smectite, the geological meaning of the K–Ar ages is uncertain, since the exact genetics of mixed-layer illite/smectite can not be resolved by the XRD method. If the mixed-layer illite/smectite was formed by the low-T degradation of illite, the ages obtained are probably mixed ages, since the K–Ar system does not represent a closed system during this transformation. If the mixed-layer illite/smectite represents a cogenetic phase formed by the same process as 1M illite, the ages obtained are theoretically reasonable; this can have also important geological meaning. However, this possibility seems to be less probable from a mineralogical point of view.

—Finally, the age data of the samples containing considerable amounts of smectite are also somewhat problematic, since smectite may also represent a low-T

alteration product of illite based on the continuous transformation series of illite > mixed-layer illite/smectite > smectite.

Based on these considerations the oldest, Middle Triassic – Early Jurassic (230–190 Ma) ages seem to be the most reliable ones from the available dataset, which all come from the Borehole Üh–1. These ages show a rather good agreement with zircon and titanite fission track ages (with a closure temperature of ca. 200 °C) deriving from different compositions of the Mórággy Granite (240–210 Ma; DUNKL 1990). Very similar Middle and Late Triassic K–Ar ages (241–198 Ma) were obtained on numerous whole rock samples of the Lower Permian Gyűrűfű Rhyolite in the wider geological surroundings (BARABÁS-STUHL 1988). Recent K–Ar, Ar–Ar and Rb–Sr investigations on mineral separates deriving from different rock types of the crystalline basement of the Tisza Unit yielded also Middle and Late Triassic ages in several localities (LELKES-FELVÁRI et al. 2003, BALOGH et al. 2009). Similar ages (250–220 Ma) correlated with the Triassic extension were published from the Late Variscan Muntele Mare granite pluton (?295 Ma) in the Apuseni Mts. forming the eastern continuation of the Tisza Unit (ANTON 2000, BALINTONI et al. 2010). Such an age (229 Ma) was obtained for the syenitic intrusive phase of the Ditró Alkaline Massif (Eastern Carpathians) based on recent U–Pb dating of zircons (PANA et al. 2000). According to the overview of STRUTINSKI et al. (2006)—including almost 600 K–Ar ages—the Middle and Late Triassic ages are rather widespread in the Intra-Carpathian region of Romania. The regional importance of Middle to Late Triassic event(s) is also shown by the fact that they are not restricted to the Tisza Unit only, but also appear in the Pelso Unit (e.g. certain clayey altered zones within the Velence Granite: BENKÓ 2006; Telekesoldal Rhyolite of the Rudabánya Mts.: KÖVÉR Sz., pers. comm.). Based on these data the Middle and Late Triassic ages seem to represent important proofs a regional—although in details still not well-understood—geological event(s) associated with elevated heat and fluid flow, which affects the whole Intra-Carpathian region according to the available data.

From an analytical point of view two other samples (Potential Borehole Bp–1: 165 Ma – Middle Jurassic; furthermore the borehole Üh–2: 75 Ma – Late Cretaceous) containing only minor quantity of mixed-layer illite/smectite and smectite can be also qualified as samples with relatively good age data. The remaining Jurassic and Cretaceous ages can be accepted as an approximate age of tectonic activity associated with hydrothermal circulation only in that case, if one assumes that the considerable quantities of mixed-layer illite/smectite and smectite are fully cogenetic phases with 1M illite, furthermore there was absolutely no Ar loss in the mixed-layer illite/smectite. If these phases represent, however, the low-T alteration products of 1M illite, or eventually the products of a separate, lower temperature hydrothermal phase, the K–Ar ages measured are mixed ages, which are surely younger than the formation of 1M illite.

The genetics of illite plays a fundamental role in the interpretation of K–Ar ages, whereas two basic modes can be distinguished:

1) illite precipitates directly from migrating fluids, in other words: veins and fractures infilled by illite do not derive from the alteration of the neighbouring host rock,

2) illite is formed by the fluid-driven, intense in situ transformation of the rock-forming minerals—first of all: feldspars—of the granitoid host rock, in other words: illite is an authigenic phase in clay-gouge-bearing fault core zones.

The introduced microstructural, mineralogical-petrological, furthermore geochemical (NÉDLI, SZABÓ 2007) features of the samples studied clearly argue for the second mechanism. Considering the temporal relationship of the formation of illite and the age of deformation producing the fault zones studied, there are further two possibilities in the second case:

2a) In the first scenario the clayey alteration indicating intense fluid flow is not related to a particular deformation phase. The clayey alteration occurs along pre-existing weakness zones (e.g. fractures, cataclastic zones) of the granite body causing here considerable alteration in the host rock, and the subsequent deformation postdates the alteration process. This means that radiometric ages determined on illite-rich fine fractions record only the time of mineralogical transformation (illitisation due to fluid-rock interaction) in clay-gouge-bearing fault core zones, whereas brittle deformation proceeding in the zone is—even by (ten)million of years—definitely younger. This model implicitly includes the presence of three, temporally more or less well-distinguishable, independent events: (a) early deformation without significant fluid flow (and associated illitisation), (b) in situ clayey alteration due to hydrothermal effect in the tectonically preformed zone, (c) a subsequent, deformation again without significant fluid flow (and associated illitisation).

2b) In the second scenario the fluid-driven clayey alteration and the tectonic deformation are more or less coeval, moreover mutually enhancing processes. This means that the K–Ar ages obtained on illite-rich fine fractions record not only the time of mineralogical transformation (illitisation), but also the approximate age of associated brittle deformation.

The model 2b) might represent a geologically much more probable situation than model 2a), since the presence of some fluids is almost sure even in the case of a shallow-buried rock body. These fluids can flow obviously by much larger probability in the zones made permeable by synchronous tectonic activity, where they cause the mineralogical transformation of crushed rock material further enhancing deformation. Taking into account the discussion above and also the results of microtectonic investigations, the syn-tectonic character of illite formed roughly coeval with the genesis of fault zones can be suggested (see also “Formation and Evolution of Brittle Fault Zones”), consequently the yielded K–Ar ages—considering the analytical point of view introduced

previously as well—can be interpreted as the approximate formation age of the fault zones studied. This interpretation is also supported by the well-preserved, foliated clay gouges, since the syn-tectonic, foliated microstructure suggesting high differential stress at its formation could not have been preserved in the presence of substantial, overprinting brittle deformation(s).

In this frame of interpretation the brittle deformations producing the fault zones studied clearly belong to the Alpine orogenesis according to the radiometric age data. As mentioned above the most reliable, relatively old (Middle Triassic to Early Jurassic) ages derive from the borehole Űh–1. However, one must also take into account at the geological interpretation that the fine fractions of the samples providing here the two younger ages (190 and 208 Ma) contain also the polytype 1M<sub>d</sub> (Table 1), whereas the samples exhibiting the two older ages (215 and 230 Ma) contain exclusively the polytype 1M. As the polytype 1M<sub>d</sub> probably represents the low-T alteration product of the polytype 1M, therefore the two older ages are regarded as analytically more reliable among the four ages deriving from this borehole. In summary, the obtained K–Ar ages deriving from the depth interval identified as the location of an important fault zone in the geological log of the borehole (KÓKAI 1997) can be interpreted as time of illite formation and associated tectonic activity basically in the Late Triassic (Carnian). Furthermore, considering the mineralogical criteria discussed above, the presence of a Middle Jurassic (165 Ma) and a Late Cretaceous (75 Ma) tectonic event can be also assumed. The tectonic meaning of the remaining, mostly Early Cretaceous ages is still questionable, although they theoretically could be fit well into the geological evolution model of the study area considering also the available data on the Cretaceous tectonics of the wider geological surroundings (e.g. WEIN 1961, 1967; NÉMEDI VARGA 1983; BENKOVICS 1997). However, it can be stated on the basis of new data that the Mórógy Granite was affected by important fluid-rock interactions associated with the formation of illite several times during the Mesozoic, which were at least partly also roughly coeval with tectonic activities.

Finally it should be also mentioned that the comparison of the available K–Ar ages and the kinematic model leads to the conclusion that the second phase of the kinematic model ranked into the Neogene was not accompanied by substantial, illite-producing rock alteration, but this phase was characterised by the reactivation of pre-existing, weak fault zones formed during the Mesozoic according to the K–Ar ages.

### Formation and Development of Fault Zones

The evolution mechanism of clay-gouge-bearing fault core zones represents an important problem. On the basis of authors' field experience and their data deriving from the examination of clay fault gouges, as well as considering the relating professional literature, it can be concluded that the

formation of the core zones in question happened in the presence of fluids, simultaneously with tectonic deformation and comminution (VROLIJK, VAN DER PLUIJM 1999, JEFFERIES et al. 2006). Mineral alteration as a consequence of the presence of fluids (argillation)—in the protolith that can be ground even down to the fraction size of clay minerals (MONZAWA, OTSUKI 2003)—and tectonic deformation are mutually enhancing (positive feedback) subprocesses in this process. Tectonic strain and the brittle crumbling of mineral grains (STEWART et al. 2000) start the process during which weakened zones develop in the granite body, mainly along former weakened zones, that are well permeable also for fluids. Such weakened zones are represented either by rock boundaries, or by pseudo-mylonites (Figure 6, a) and mylonites. Deformation is assisted by the presence of fluids that quasi “soften” the shear zones. In the presumable multiply reactivated zones (which contain previously developed infillings at places) alteration triggered by fluids prevails during the deformation and its short intervals. This alteration further weakens the rock, since the newly formed, fine-grained phyllosilicates that evolve at the expense of the protolith considerably reduce the shear stress of the rock in the given zone. Consequently, the deformation will concentrate more and more into the altered zone and its environment as the process advances. This leads to the formation of newer faults and further tectonic comminution in the weakened zones that are saturated with fluids. The self-fortifying process succession finally leads to the enlargement (thickening) of the zone, the concentration of deformation and the more and more intensive mineral alteration. The final stage of the deformation process is indicated by the formation of foliated clay fault gouge (CHESTER, LOGAN 1986, LIN 2001), in which the deformation is primarily realised by the so-called cataclastic flow (ENGELDER 1974).

The fluids cannot only cause the alteration of the original rock-forming minerals (feldspars, biotite, amphibole), but other new minerals (mainly carbonates and quartz) can precipitate in new fractures that are constantly developing during the deformation as the described process advances. These infillings can break up during the progressive deformation and can mix with the mineral and rock fragments of the host rock then can be recemented or can be incorporated into the clay gouge.

### Acknowledgements

The commission that constituted the base of the interpretation has been given to the Geological Institute by Puram and the Mecsekérc Plc, these results could not have been obtained without it. The authors thank all tunnel-mapping and borehole-logging geologists (Gáspár Albert, Ambrus Barabás, István Bíró, János Borsody, György Don, Márton Fórián-Szabó, Judit Fűri, Zoltán Gulácsi, Pál Gyarmati, Amadé Halász, Botond Kemény, Edit Király, András Kókai, Balázs Koroknai, Zoltán Lantos, Árpád Magyarai, Péter Majoros, Balázs Musitz, István Oláh, Klára Palotás, Zsolt Peregi, Géza Szabényi, Patrik Török and István Zsámbok) for their work of years, which provided the major part of the data used for the preparation of this paper. The authors thank Zoltán Balla and László Gyalog as leaders of the project to open the door to reach authors' results. The authors thank Antonyina Dudko for her pioneer work to gain knowledge about the fault zones. The authors thank Mecsekérc Plc and its subcontractors, the miner colleagues to provide the necessary place and time for the observations. The authors thank Gyula Konrád for the revision of this paper, his useful remarks.

### References — Irodalom

- ANTON, D. C. 2000: *Petrographical, geochemical and isotopic study of Mt. Mare granitoids, North Apuseni Mountains. PhD Thesis.* — Tokyo University, Tokyo, 163 p.
- ÁRKAI, P., BALOGH, K., DEMÉNY, A., FÓRIZS, I., NAGY, G., MÁTHÉ, Z. 2000: Composition, diagenetic and post-diagenetic alterations of a possible radioactive waste repository site: the Boda Albitic Claystone Formation, southern Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* 43 (4), pp. 351–378.
- BALINTONI, I., BALICA, C., CLIVETI, M., LI-QIU, L., HAHN, H. P., CHEN, F., SCHULLER, V. 2010: The emplacement age of the Muntele Mare Variscan granite (Apuseni Mountains, Romania). — *Geologica Carpathica* 60 (6), pp. 495–504.
- BALLA, Z. 2004: General characteristics of the Bábaapáti (Üveghuta) Site (South-western Hungary) (A Bábaapáti [Üveghutai]-telephely általános jellemzése). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, Budapest, pp. 73–91.
- BALLA, Z., GYALOG, L. 2009: A Mórággyi-rög északkeleti részének földtana. Magyarázó a Mórággyi-rög északkeleti részének földtani térképsorozatához (1:10 000) (Geology of the North-eastern part of the Mórággy Block. Explanatory notes to the geological map-series of the North-eastern part of the Mórággy Block [1:10,000]). — *Magyarország tájegységi térképsorozata (Regional map series of Hungary)*. Magyar Állami Földtani Intézet, 2009, 283 p. (216 p.)
- BALLA Z., ALBERT G., CHIKÁN G., DUDKO A., FODOR L., FÓRIÁN-SZABÓ M., FÖLDVÁRI M., GYALOG L., HAVAS G., HORVÁTH I., JÁMBOR Á., KAISER M., KOLOSZÁR L., KOROKNAI B., KOVÁCS-PÁLFFY P., MAROS GY., MARS I., PALOTÁS K., PEREGI ZS., RÁLISCH L.-NÉ, ROTÁRNÉ SZALKAJ Á., SZÓCS T., TÓTH GY., TURCZI G., PRÓNAY ZS., VÉRTESY L., ZILAH I.-SEBESS L., GALS A., SZONGOTH G., MEZŐ GY., MOLNÁR P., SZÉKELY F., HÁMOS G., SZÜCS I., TURGER Z., BALOGH J., JAKAB G., SZALAI Z. 2003: A felszíni földtani kutatás zárójelentése, Bábaapáti (Üveghuta),

- 2002–2003 (in Hungarian, translated title: Final report of the ground-based geological exploration, Bábaapáti [Üveghuta], 2002–2003). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1102; Bábaatom Kft., Budapest, BA–03–156.
- BALLA Z., CSÁSZÁR G., FÖLDVÁRI M., GULÁCSI Z., GYALOG L., HORVÁTH I., KAISER M., KIRÁLY E., KOLOSZÁR L., KOROKNAI B., MAGYARI Á., MAROS GY., MARSIL, MUSITZ B., RÁLISCH E., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., SZÓCS T., TÓTH GY. (MÁFI); BERTA J., CSAPÓ Á., CSURGÓ G., GORJÁNÁZ Z., HÁMOS G., HOGYOR Z., JAKAB A., MOLNOS I., MOSKÓ K., ORSZÁG J., SIMONCSICS G., SZAMOS I., SZEBÉNYI G., SZÜCS I., TURGER Z., VÁRHEGYI A. (Mecsekérc); BENEDEK K., MOLNÁR P., SZEGŐ I., TUNGLI GY. (Golder); MADARASI A., MÁRTONNÉ SZALAY E., PRÓNAY ZS., TILDY P. (ELGI); SZONGOTH G. (Geo-Log); GACSÁLYI M. (MBFH); KOVÁCS L. (Kútfej Bt.); MÓNUS P. (GeoRisk); VÁSÁRHELYI B. (Vásárhelyi és Tsa Bt.) 2008: A felszín alatti földtani kutatás zárójelentése (in Hungarian, translated title: Final Report of the underground geological research). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1419.
- BALOGH, K., M. TÓTH, T., DUNKL, I., SCHERRER, N. 2009: A polimetamorf aljzat geokronológiai viszonyai a Szeghalom és a Mezősas-Furta háton (in Hungarian, translated title: Geochronological relationships of the polymetamorphic basement on the Szeghalom and the Mezősas-Furta basement high). — In: M. TÓTH T. (szerk.): *Magmás és metamorf képződmények a Tiszai egységben*. GeoLitera, Szeged; pp. 147–160.
- BARABÁSNÉ STUHL Á. 1988: Összefoglaló jelentés a Dél-Baranyai domboság és a Villányi-hegység permii képződményeinek kutatásáról (in Hungarian, translated title: Final report on the geological research of the Permian formations of the South Baranya and the Villány Hills). — *Manuscript (kézirat)*, MÉV Adattár (J–3278/IV).
- BENEDEK, K., BÓTHI, Z., MEZŐ, GY., MOLNÁR, P. 2009: Compartmented flow at the Bábaapáti site in Hungary. — *Hydrogeology Journal* 17 (5), pp. 1219–1232.
- BENKÓ, ZS. 2006: Többfázisú magmás-hidrotermális tevékenység rekonstrukciója a Velencei-hegységben (in Hungarian, translated title: Reconstruction of polyphase magmatic-hydrothermal activity in the Velence Hills). — *Abstract, Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonfűzfő*, pp. 28–29.
- BENKOVICS, L. 1997: Étude structurale et géodynamique des Monts Buda, Mecsek et Villány (Hongrie). PhD Thesis. — *Manuscript (kézirat)*, Université des sciences et Technologies de Lille.
- BILLI, A., SALVINI, F., STORTI, F. 2003: The damage zone-fault core transition in carbonate rocks: implications for fault growth, structure and permeability. — *Journal of Structural Geology* 25 (11), pp. 1779–1794.
- BOYER, S. E., ELLIOTT, D. 1982: Thrust systems. — *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 66 (9), pp. 1196–1230.
- BUDA GY. 1999: Kis és közepes radioaktivitású erőművi hulladékok végleges elhelyezése. Telephelykutatás Üveghuta körzetében. Összefoglaló jelentés az Üveghuta–22., –23. és –24. sz. fúrások granitoid kőzeteinek vizsgálatáról (in Hungarian, translated title: Summary report of the analysis of granitoid rocks from Boreholes Üveghuta–22, 23, and 24). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 634.
- BUDA, GY., DOBOSI, G. 2004: Lamprophyre-derived high-K mafic enclaves in variscan granitoid from the Mecsek Mts. (South Hungary) — *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 180(2), pp. 115–147.
- BUDA, GY., PUSKÁS, Z., GÁL-SÓLYMOS, K., KLÖTZLI, U., COUSSENS, B. L. 2000: Mineralogical, petrological and geochemical characteristics of crystalline rocks of the Üveghuta boreholes (Mórággy Hills, South Hungary) (Üveghutai mélyfúrások kristályos kőzeteinek ásvány-kőzettani és geokémiai jellemzése [Mórággyi-rög]). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 231–253.
- CAINE, J. S., EVANS, J. P., FORSTER, C. B. 1996: Fault zone architecture and permeability structure. — *Geology* 24 (11), pp. 1025–1028.
- CHESTER, F. M., LOGAN, J.M. 1986: Implications for mechanical properties of brittle faults from observations of the Punchbowl Fault zone, California. Internal structures and fault zones. — *Pure and Applied Geophysics* 124 (1), pp. 77–106.
- CSONTOS, L., BENKOVICS, L., BERGERAT, F., MANSY, J-L., WÓRUM, G. 2002a: Tertiary deformation history from seismic section study and fault analysis in a former European Tethyan margin (the Mecsek–Villány area, SW Hungary) — *Tectonophysics* 357 (1–4), pp. 81–102.
- CSONTOS, L., MÁRTON, E., WÓRUM, G., BENKOVICS, L. 2002b: Geodynamics of SW-Pannonian inselbergs (Mecsek and Villány Mts, SW Hungary): Inferences from a complex structural analysis — *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* 3, pp. 227–245.
- CSONTOS, L., TARI, G., BERGERAT, F., FODOR, L. 1991: Evolution of the stress-fields in the Carpatho-Pannonian area during the Neogene. — *Tectonophysics* 199 (1), 73–91, 1991.
- DUDKO, A. 2000: Correlation of geological and geophysical data for the fracture zones of the Üveghuta site (Törékes övek földtani és geofizikai adatainak összevetése az üveghutai telephelyen). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 273–286.
- DUDKO A., SZEBÉNYI G. 2003: Jelentés az Anyák-kútja melletti kőfejtő tektonikai vizsgálatáról (in Hungarian, translated title: Report of the tectonic evaluation of the quarry near Anyák-kútja [Mothers' Spring]). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1086.
- DUNKL I. 1990: A fission track módszer és alkalmazása geokronológiai kérdések megoldásában. Kandidátusi értekezés (in Hungarian, translated title: The fission track method and its application in the solution of geochronological problems). — *Manuscript (kézirat)*, Miskolci Egyetem, Miskolc.
- ENGELDER, J. T. 1974: Cataclasis and the generation of fault gouge. — *Geological Society of America Bulletin* 85 (10), pp. 1515–1522.
- FAULKNER D. R., LEWIS, A. C., RUTTER, E. H. 2003: On the internal structure and mechanics of large strike-slip fault zones: field observations of the Carboneras fault in southeastern Spain. — *Tectonophysics* 367 (3–4), pp. 235–251.
- FODOR, L., CSONTOS, L., BADA, G., GYÖRFI, I., BENKOVICS, L. 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data. In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F., SERANNE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine orogen*. — *Geological Society, London, Special Publication* 156, pp. 295–334.
- GERDES A. 2006: Report on the LA-ICP-MS U-Pb dating of four borehole samples from the Mecsek Mountain granitoids. —

- Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1304.
- GUGGENHEIM, S., BAIN, D. C., BERGAYA, F., BRIGATTI, M. F., DRITS, V. A., EBERL, D. D., FORMOSO, M. L. L., GALÁN, E., MERRIMAN, R. J., PEACOR, D. R., STANJEK, H., WATANABE, T. 2002: Report of the Association Internationale pour l'Étude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2001: Order, disorder and crystallinity in phyllosilicates and the use of the "crystallinity index". — *Clays and Clay Minerals* 50 (3), pp. 406–409.
- GYALOG L., BALLA Z., CSÁSZÁR G., GULÁCSI Z., KAISER M., KOLOSZÁR L., KOROKNAI B., LANTOS Z., MAGYARI Á., MAROS GY., MARSÍ I., PEREGI ZS. 2006: Földtani és geomorfológiai térképezés jelentése (in Hungarian, translated title: Report on geological and geomorphological mapping [Üveghuta]). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1339; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK-K-131/06.
- GYALOG L., JÁMBOR Á., KÓKAI A., MAROS GY., PEREGI ZS. (MÁFI), KONRÁD GY., MÁTHÉ Z. (Mecsekérc), SZEBÉNYI G. (Kömlődi Korrekt). 2003: A bátaapáti A1 és A2 árok földtani leírása. 1. kötet, Földtani leírás (in Hungarian, translated title: Geological mapping of the Trenches A1 and A2 at Bataapáti. Volume 1. Geological mapping). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1000.
- HAINES, S. H., VAN DER PLUUM, B. A. 2008: Clay quantification and Ar-Ar dating of synthetic and natural gouge: Application to the Miocene Sierra Mazatan detachment fault, Sonora, Mexico. — *Journal of Structural Geology* 30 (4): pp. 525–538.
- HORVÁTH, F., BADA, G., WINDHOFFER, G., CSONTOS, L., DÖVÉNYI, P., FODOR, L., GRENERCZY, Gy., SÍKHEGYI, F., SZAFIÁN, P., SZÉKELY, B., TIMÁR, G., TÓTH, L., TÓTH, T., 2005: A Pannon medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó. OTKA T034928 sz. projekt, zárójelentés (in Hungarian, translated title: Atlas of Recent Geodynamics of the Pannonian Basin). — *Manuscript (kézirat)*, ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Geofizikai Tanszék, Budapest.
- JANTSKY B. 1953: A mecseki kristályos alaphegység földtani viszonyai (in Hungarian with French abstract: Les conditions géologiques du socle cristallin du Mecsek). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1950-ről*, pp. 65–77.
- JANTSKY B. 1979: A mecseki gránitosodott kristályos alaphegység földtana (Géologie du socle cristallin granitisé de la montagne Mecsek). I *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* 60, 385 p.
- JEFFERIES, S. P., HOLDSWORTH, R.E., WIBBERLEY, C. A. J., SHIMAMOTO, T., SPIERS, C. J., NIEMEIJER, A. R., LLOYD, G. E. 2006: The nature and importance of phyllonite development in crustal-scale fault cores: an example from the Median Tectonic Line, Japan. — *Journal of Structural Geology* 28 (2), pp. 220–235.
- KIRÁLY E., KOROKNAI B. 2004: The magmatic and metamorphic evolution of the north-eastern part of the Mórággy Block (A Mórággyi-rög ÉK-i részének magmás és metamorf fejlődéstörténete). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 299–318.
- KLÖTZLI, U. S., BUDA GY., SKIOLD, T. 2004: Zircon typology, geochronology and whole rock Sr-Nd isotope systematics of the Mecsek Mountain granitoids in the Tisia Terrane (Hungary). — *Mineralogy and Petrology* 81 (1–2), pp. 113–134.
- KÓKAI A. 1997: Geological evaluation of the Üveghuta–1 borehole (Az Üveghuta–1 fúrás földtani értékelése) — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1996/II*, pp. 59–75.
- KOROKNAI B. 2003: Az irányított minták mikrotektonikai vizsgálata és összefoglaló értékelése (in Hungarian, translated title: Microtectonic study of the oriented samples and their summarising analysis [Üveghuta]). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1004.
- KOROKNAI B. 2009: A variszkuszi orogenezishez kapcsolódó szerkezetek (Structures connected to the Variscan orogenesis). — In: BALLA, GYALOG (2009), pp. 141–149 (pp. 131–139).
- KOROKNAI, B., GULÁCSI, Z. 2006: Mecsekjánosi Bazalt Formáció, alsó-kréta (in Hungarian, translated title: Mecsekjános Basalt Formation, Lower Cretaceous). — In: GYALOG et al. (2006), Chapter 4.3. (fejezet), pp. 107–118.
- KOVÁCS-PÁLFFY, P., FÖLDVÁRI, M. 2004: Hydrothermal minerals and phenomena in the Mórággy Granite Formation (Hidrotermális képződmények és jelenségek a Mórággyi Gránit Formációban). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 319–331.
- LELKES-FELVÁRI, GY., FRANK, W., SCHUSTER, R. 2003: Geochronological constraints of the Variscan, Permian-Triassic and Eo-Alpine (Cretaceous) evolution of the Great Hungarian Plane basement. — *Geologica Carpathica* 54 (5), pp. 299–315.
- LIN, A. 2001: S-C fabrics developed in cataclastic rocks from the Nojima fault zone, Japan and their implications for tectonic history. — *Journal of Structural Geology* 23 (6–7), pp. 1167–1178.
- LONKER, S. W., FITZ GERALD J. D. 1990: Formation of coexisting 1M polytypes and 2M polytypes in illite from an active hydrothermal system. — *American Mineralogist* 75 (11–12), pp. 1282–1289.
- MAROS GY. 2006: A Mórággyi Gránit szerkezeti fejlődése az ImaGeo magszkennerrel történt fúrásértékelések alapján. PhD doktori értekezés, Miskolci Egyetem (in Hungarian, translated title: Structural evolution of the Mórággy granite, based on the ImaGeo corescanner evaluations. PhD Thesis). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1348.
- MAROS GY., KOROKNAI B. 2009: Töréses szerkezetek (Brittle structures). — In: BALLA, GYALOG (2009), pp. 141–149 (pp. 139–145).
- MAROS, Gy., PALOTÁS, K. 2000a: Evaluation of planar features in Boreholes Üveghuta Üh–22 and Üh–23 with CoreDump software (Az üveghutai Üh–22 és Üh–23 fúrásban észlelt síkszerű jelenségek értékelése CoreDump szoftverrel). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi jelentése 1999-ről*, pp. 315–340.
- MAROS, Gy., PALOTÁS, K. 2000b: Evaluation of the relative time series of events observed in Boreholes Üh–22 and Üh–23 near Üveghuta with CoreTime software (Az üveghutai Üh–22 és Üh–23 fúrásban észlelt események idősorrendjének értékelése CoreTime szoftverrel). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 341–352.
- MAROS GY., BALLA Z., DUDKO A., FODOR L., FÓRIÁN-SZABÓ M., KOROKNAI B., LANTOS M., PALOTÁS K. 2003: Tektonikai zárójelentés (in Hungarian, translated title: Final tectonic report). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1046; Bátatom Kft., Budapest, BA–03–118.
- MAROS GY., KOROKNAI B., PALOTÁS K., DUDKO A., BALOGH K., PÉCSKAY Z. 2009: Törészónák a Mórággyi gránitban: újszerkezeti és K/Ar adatok (in Hungarian, translated title: Brittle shear zones

- in the Mórógy Granite, new structural and K/Ar data). — In: M. TÓTH T. (szerk.): *Magmás és metamorf képződmények a Tiszai egységben*. GeoLittera, Szeged, pp. 43–62.
- MAROS, GY., KOROKNAI, B., PALOTÁS, K., FODOR, L., DUDKO, A., FÓRIÁN-SZABÓ, M., ZILAHÍ-SEBESS, L., BÁN-GYÓRY, E. 2004: Tectonic analysis and structural evolution of the north-eastern Mórógy Block (A Mórógyi-rög ÉK-i részének tektonikai elemzése és szerkezetalakulása). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 371–394.
- MAROS GY., PALOTÁS K., DUDKO A., KOVÁCS-PÁLFFY P. 1999: Az Üveghuta Üh–22 és Üh–23 fúrás tektonikai vizsgálata (in Hungarian, translated title: Tectonic log of Boreholes Üveghuta–22 and 23). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 644.
- MÁRTON, E., MÁRTON, P. 1999: Tectonic aspects of a palaeomagnetic study on the Neogene of the Mecsek Mountains. — *Geophysical Transactions* 42 (3–4), pp. 159–180.
- MAURITZ B., CSAJÁGHY, G. 1952: Alkáli telérek Mórógy környékéről (in Hungarian, translated title: Alkali dykes in the surroundings of Mórógy). — *Földtani Közöny* 82 (4–6), pp. 137–142.
- MOLNOS I., DEÁK F., JAKAB A., SOMODI G., SZAMOS I., VÁSÁRHELYI B. (Mecsekérc Zrt.), GYALOG L., GULÁCSI Z., MAROS GY., MUSITZ B., KIRÁLY E., OLÁH I., SZEBÉNYI G. (MÁFI) 2007: Jelentés a Bábaapátiban mélyített Nyugati-lejtősakna 600,00–1309,50 és Keleti-lejtősakna 599,40–1254,10 m-es szakaszán elvégzett földtani-tektonikai, geotechnikai és vízföldtani dokumentálási munkákról (in Hungarian, translated title: Report on geological-tectonic, geotechnical and hydrogeological documentation work performed along the 600.00–1309.50 m stretch of the Western Incline and the 599.40–1254.10 m stretch of the Eastern Incline). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1381.
- MOLNOS I., DEÁK F., JAKAB A., SOMODI G., VÁSÁRHELYI B. (Mecsekérc Zrt.), BALLA Z., GYALOG L., GULÁCSI Z., MAROS GY., PALOTÁS K., RÁLISCH E., SZEBÉNYI G. (MÁFI) 2006: Jelentés a Bábaapátiban mélyített lejtősaknák 0–600 fm-es szakaszán elvégzett földtani-tektonikai, geotechnikai és vízföldtani dokumentálási munkákról (in Hungarian, translated title: Report on geological-tectonic, geotechnical and hydrogeological documentation work performed along the 0–600 m stretch of inclines in Bábaapáti). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1332; Mecsekérc Zrt., Pécs, RHK–K–075/06.
- MOLNOS I., JAKAB A., SOMODI G., SZAMOS I., VÁSÁRHELYI B. (Mecsekérc), GYALOG L., BORSODY J., FÜRI J., GULÁCSI Z., MAROS GY., MUSITZ B. (MÁFI) 2008: Jelentés a Bábaapátiban mélyített Nyugati-lejtősakna 1309,50–1772,50 és Keleti-lejtősakna 1254,10–1723,50 m-es szakaszán elvégzett földtani-tektonikai, geotechnikai és vízföldtani dokumentálási munkákról (in Hungarian, translated title: Report on geological-tectonic, geotechnical and hydrogeological documentation work performed along the 1309.50–1772.50 m stretch of the Western Incline and the 1254.10–1723.50 m stretch of the Eastern Incline). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1381.
- MONZAWA, N., OTSUKI, K. 2003: Comminution and fluidization of granular fault materials: implications for fault slip behavior — *Tectonophysics* 367 (1–2), pp. 127–143.
- NÉDLI ZS., SZABÓ CS. 2007: Az üveghutai repedéskitöltésekben megjelenő különböző ásványfázisok lehetséges geokémiai rokonságának vizsgálata. Vulkanitminták magmás rokonságának vizsgálata (In Hungarian, translated title: Study of possible geochemical relationships between various minerals of the fissure fillings at Üveghuta. Study of magmatic relationships between samples of volcanic rocks). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1375.
- NÉMEDI VARGA Z. 1983: A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképződési ciklusban (in Hungarian with English abstract: Structural history of the Mecsek mountains in the Alpine orogenic cycle). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1981-ről*, pp. 467–484.
- PANÁ, D., BALINTONI, I., HEAMAN, L. 2000: Precise U-Pb zircon dating of the syenite phase from the Ditrau alkaline igneous complex. — *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia* XLV (1), pp. 79–89.
- PASSCHIER, C. W., TROUW, R. A. J. 1996: *Microtectonics*. — Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hong Kong, London, Milan, Paris, Singapore, Tokyo, 289p.
- PEACOR, D. R., BAULUZ, B., DONG, H. L., TILLICK, D., YAN, Y. H. 2002: Transmission and analytical electron microscopy evidence for high Mg contents of 1M illite: Absence of 1M polytypism in normal prograde diagenetic sequences of pelitic rocks. — *Clays and Clayminerals* 50 (6), pp. 757–765.
- RAMSAY, J. G., HUBER, M. I. 1987: *The techniques of modern structural geology. Volume II. Folds and fractures*. — Academic Press, London, 700p.
- STEWART, M., HOLDSWORTH, R. E., STRACHAN, R. A. 2000: Deformation processes and weakening mechanisms within the frictional-viscous transition zone of major crustal-scale faults: insights from the Great Glen Fault Zone, Scotland. — *Journal of Structural Geology* 22 (5), pp. 543–560.
- STRUTINSKI, C., PU, T., STAN, R. 2006: The metamorphic basement of Romanian Carpathians: a discussion of K–Ar and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages. — *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia* LI (1–2), pp. 15–21.
- SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., GALSÁ A., BANNÉ GYÓRI E., LENDVAY P., BARTHA Z. 2003: Mélyfúrás-geofizikai adatok integrált értelmezése (az 1996–2003-ban végzett összes mérés alapján) (in Hungarian, translated title: Integrated interpretation of well-logging data (on the basis of all measurements between 1996 and 2003) [Üveghuta]). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1059; Bátatom Kft., Budapest, BA–03–62.
- TARI, G. 1992: Late Neogene transpression in the Northern Imbricates zone, Mecsek Mts. Hungary. — *Annales Universitatis Scientiarum Budapestiensis de Rolando Eötvös nominatae, Sectio Geologica* 29, pp. 165–187.
- VROLIK, P., VAN DER PLUUM, B. A. 1999: Clay gouge. — *Journal of Structural Geology* 21 (8–9), pp. 1039–1048.
- WEIN GY. 1961: A szerkezetalakulás mozzanatai és jellegei a Keleti-Mecsekben (Phasen und Beschaffenheit der tektonischen Ausbildung im östlichen Mecsek-Gebirge). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve* 49 (3), pp. 759–768 (pp. 945–956).
- WEIN GY. 1965: Az Északi Pikkely a Mecsek hegységben (in Hungarian, translated title: The Northern Imbricates in the Mecsek Mts.). — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 98 (6), pp. 402–411.
- WEIN GY. 1967: Délkelet-Dunántúl hegység szerkezeti egységeinek összefüggései az óalpi ciklusban (in Hungarian with German abstract: Zusammenhänge der tektonischen Einheiten Südost-



- Transdanubiens im altalpidischen Zyklus). — *Földtani Közöny* 97 (3), pp. 286–293.
- WIBBERLEY, C. A. J., SHIMAMOTO, T. 2003: Internal structure and permeability of major strike-slip fault zones: the Median Tectonic Line in Mie Prefecture, Southwest Japan. — *Journal of Structural Geology* 25 (1), pp. 59–78.
- ZILAHÍ-SEBESS L. 2005: Mélyfúrás-geofizikai mérések értelmezése a Mórágýi rög területén. PhD doktori értekezés (in Hungarian, translated title: Interpretation of well-logging measurements in the area of the Mórágý Block. PhD Thesis). — *Manuscript (kézirat)*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest.
- ZILAHÍ-SEBESS, L., MÉSZÁROS, F., SZONGOTH, G. 2000: Characterisation of fracture zones in granite, based on well-logging data at the Üveghuta Site (A gránit töréses öveinek jellemzése mélyfúrás-geofizikai adatok alapján az üveghutai telephelyen). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 253–272.

# A digitális térképkészítés korszaka a Magyar Állami Földtani Intézetben

## *The digital map construction event in the Geological Institute of Hungary*

TURCZI GÁBOR

Magyar Állami Földtani Intézet, H-1143 Budapest Stefánia út 14.

---

Keywords: CAD, GIS, map services, WEB maps, cartography, science history

### Abstract

In the articles of association of MÁFI (established in 1896) there is an even currently important entry about „the general and detailed geological map production within the state boundary and its publication”. In the last ten years dramatic changes happened around the field data collection methods, data processing and map production techniques. After a short CAD period, started in the 80s we turned to an intensive and systematic well organised GIS construction. At present almost all maps based on information form a standard spatial database system and corresponding services.

Tárgyszavak: CAD, GIS, térkép szolgáltatás, WEB térkép, kartografálás, tudomány történet

### Kivonat

A földtani kutatás egyik legfontosabb munkaeszköze a térkép, mely az adatgyűjtés, az értelmezés és a levezetett eredmények bemutatásának is az eszköze. Magyar Állami Földtani Intézetnek alapítása óta feladata a „a magyar államterület általános és részletes földtani térképeinek készítése és kiadása”. Az 1980-as években induló informatikai fejlesztések – a fejlett technológiák nyugati embargója és a hatalmi rendszer téradatok kapcsolatos szigora ellenére –adták az alapját a digitális térképszerkesztésnek. Egy rövid CAD-korszak után az ArcGIS-re történő áttérés lehetővé tette, hogy minden digitális térkép mögött egy többfunkciós információs adatbázis legyen.

---

Az 1869 óta működő, idén 142 éves Magyar Állami Földtani Intézet még ma is fontos feladatának tekinti az első alapító okiratában megfogalmazott „a magyar államterület általános és részletes földtani térképeinek készítése és kiadása” bejegyzést. Az elmúlt néhány tíz év gyökeres változást hozott az adatgyűjtő térképezési módszerek és a feldolgozó térképkészítési technikák területén. Az informatika térhódítása viszonylag későn kezdődött a tudományos munkát, kutatást végző intézményben. Az 1980-as évek elején, amikor az ipar, a nyersanyagkutatás kiszolgálása volt az elsődleges cél, a társintézmények, így a geofizikai kutatás és az egyes nyersanyagkutató vállalatok jelentős informatikai fejlesztéseket, alkalmazásokat tudtak felmu-

tatni, de ezek elsődleges célja a geofizikai és geostatistikai számítások elvégzése volt.

A földtani kutatás egyik legfontosabb munkaeszköze a térkép, mely az adatgyűjtés, az értelmezés és a levezetett eredmények bemutatásának is az eszköze. Megfelelő technikai lehetőségek hiányában a térinformatika térhódítása lassú folyamat volt, így a papír alapú térinformatikát, az átvilágító asztalt és a pauszt alkalmazták. Az 1980-as években még javában tombolt a COCOM — a fejlett technológiák keleti blokk ellen irányuló embargója —, ami a nehézségeket tovább fokozta. Ehhez járult hozzá az akkori hatalmi rendszer téradatokkal kapcsolatos szigora és tiltása, azaz a koordináták és topográfiai térképek titkos minősítése.

Mai szemmel nézve, amikor a legfejlettebb technológiákkal közös téradat-infrastruktúra kiépítésén dolgozunk az Inspire (Európai Közösségen belüli térinformációs infrastruktúra) keretén belül — ami EU irányelvből nemzeti törvény lett —, és nap, mint nap csodáljuk a „Google Earth”-t használva a Föld legeldugottabb tájait vagy nagyvárosok utcáit, szinte felfoghatatlan a változás mértéke.

A térinformatika születését az 1970-es évek elejére teszi a szakirodalom, és alapvetően a távérzékeléshez köti. Ez tükröződött a MÁFI tevékenységében is, hiszen a nyersanyag-kutatási terület nagy lehetőséget látott a távérzékelési módszerekben, így annak fejlesztésére áldozott is az intézet. A távérzékelésből levezethető térképek, a térképek összehasonlíthatóságának állandó igénye indította el az akkoriban még nem térinformatika-tudatos digitális térképkészítési folyamatot.

Ezt az időszakot nevezhetjük úttörő korszaknak vagy kezdeti CAD (számítógéppel segített rajzolás) korszaknak is, ahol rétegenként osztályozott vonalművek készültek, s csak az emberi odafigyelésnek volt köszönhető, ha a topológiai rend tartható volt.

Az 1980-as években, az intézetben saját fejlesztésű digitalizáló szoftver készült, melyet azonban tényleges bevezetése előtt kiszorított az AutoCad (AutoDesk cég CAD szoftvere). 1989 nemcsak a politikai fordulatok időszaka volt, hanem ekkorra vált tudatossá a digitális célok és a megvalósításához szükséges funkciók megfogalmazása is. Így már kellő tapasztalattal, a szakadozó vasfüggöny mögül döntött az intézet a térinformatikai útról, s ekkor indította el a CAD vonalon a MicroStation-t (Bentley cég CAD szoftvere) és az erre épülő robusztus térinformatikai eszközök, az MGE szoftvercsaládot (Intergraph cég szoftvere), melyet több mint tíz évig sikeresen használt projektjei kiszolgálására, és számos nyomdai sokszorosítású térkép publikáció kivitelezésében (1. ábra).

2000-ben világossá vált, hogy az MGE fejlesztése leáll, és helyét a GeoMedia (Intergraph) szoftvercsalád veszi át. Ebben az időszakban földtudományi, környezetvédelmi intézményi körökben, hazai és nemzetközi viszonylatban is szinte egyeduralmódóvá vált az ArcGIS szoftvercsalád (ESRI cég térinformatikai szoftvere). Az MGE-ről való áttérés a Geomediára pontosan akkora logikai és szemlélet-

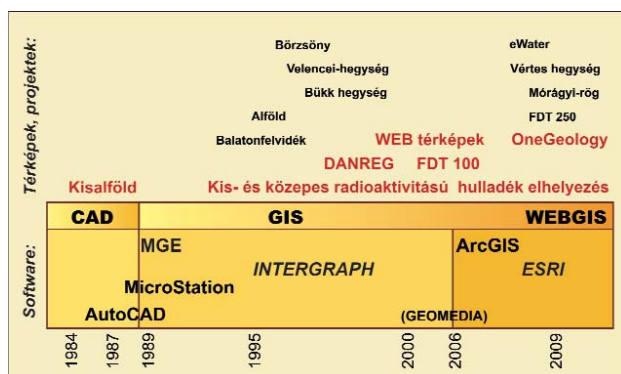
beli változást jelentett volna, mint az ArcGIS-re való migráció, ezért kézenfekvő döntés volt az ArcGIS-t választani.

Az 1980-as évek végén elkezdett térinformatikai út meghatározó részt követelt az intézet életében (1. ábra). Az ekkor záródó kisalföldi térképezés volt az első projekt, melynek eredményei térinformatikai adatbázisba kerültek. Ki kell emelni az 1995-ben indult „Kis és közepes radioaktív hulladék elhelyezést meghatározó projekt”-et, mely a térinformatikai elemzés és a térinformatikai alapú térképkészítés iskolapéldája: többtematikás, összehasonlító, minősítő térbeli elemzés a hulladék elhelyezésre alkalmas területek kijelölésére. A napjainkig tartó projektben a részletes földtani kutatás, majd később a földalatti tározó vágathajtása során számtalan direkt vagy több tematikából levezetett munkaközi és végső jelentéshez kapcsolódó, kartografált térkép készült. A földtani kutatás földtudományi zárásaként megjelent kiadványhoz 8 darab, A0-ás terjedelmű, 1:10 000-es méretarányú térképmelléklet készült.

A kiemelt a projektek sorában úttörő jelentőségű a Danreg, amely a Duna régió Bécs–Pozsony–Budapest tengely határokön átnyúló környezetét dolgozta fel 20 témakörben. Elsők között volt a nemzetközi adatharmonizáció terén, a digitális térképek CD-n történő publikálásában, s ez a térképsorozat volt az intézet első WEB-es publikációja, melyet a Geomedia WEBMAP (Intergraph cég szoftver) segítségével szolgáltatott.

Mérföldkő a térinformatikai adatbázisok területén az 1:100 000-es méretarányú földtani térkép, mely folytonosan lefedi az ország területét. A 84, térben és időben elkülönült, szelvény egységes földtani elvek szerinti összeillesztése, a földtani egységek országos szintű harmonizálása volt a munka legnagyobb kihívása. Megtörtént a Gauss–Krüger szelvények kartografálása. A térképek pdf formátumban CD-n kerültek forgalmazásra, az adatbázis hozzáférhető a WEB-en. Ez a térkép meghatározó alpmű a földtani kutatással foglalkozók számára, kutatóhelyek és oktatási intézmények térítésmentesen juthatnak hozzá. A kartografált térképművek MicroStation formátumban MGE térinformatikai háttérrel készültek. A folytonos adatbázis ArcGIS desktoppal készült, és WEB-es publikálását már ArcIMS (ESRI cég szoftvere) szolgáltatja. A térkép alapján 1:250 000-es méretarányú levezetett adatbázis is létrejött. Ezzel a térképpel lépett be az intézet a „OneGeology” (2. ábra) projektbe, mely a Google Earth mintájára földünk geológiai felszínét mutatja be. A „OneGeology” egy szabványos szolgáltatási felület, amely a nemzeti szolgáltatókkal tartja a kapcsolatot, így Magyarország esetén a MÁFI — ESRI alapú — WFS (web feature) szolgáltatásával (2. ábra). Az elkövetkező évek feladata a térképi tartalom országhatárok mentén történő egységesítése.

A rövid CAD korszakot követően elsődleges cél a térinformatikai alapokon nyugvó térképi adatbázis építése volt. Egy ilyen adatbázis a fúrési és egyéb mintavételi adatbázisokkal, szakértői levezetésekkel, új és származtatott térképek előállítására, és a napi feladatok kiszolgálására épül.



1. ábra. Mérföldkövek az elmúlt 30 évben

Figure 1. Milestones of the last 30 years



## Archaeogeológiai megfigyelések a szíriai Margat (al-Markab Citadel) keresztos vár ásatásán

### *Archaeogeological observations on the excavation of Margat (al-Markab Citadel, Syria) crusader castle*

SOLT PÉTER<sup>1</sup>, SZEGŐ ÉVA<sup>1</sup>, SZUROMINÉ KÖRE CZ ANDREA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>soltp@mafi.hu, szego@mafi.hu, Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

<sup>2</sup>kaszuro@mol.hu, MOL NyRt. KTD IMA, Új technológiák és fejlesztés, Kutatási Laboratóriumok, 1039 Budapest, Batthyány u. 45.



Keywords: Syria, Margat (Markab Citadel), Early Campanian, Pliocene, basalt, biostratigraphy, archaeogeology, ancient quarry, ancient rock export, gypsum crystal, steatite pectoral cross, Sparus sp., serpent eye, Pecten jacobaeus, pilgrim scallop shell, Foraminifera

#### Abstract

Margat (al-Markab Citadel, Syria), the largest crusader castle of the „Holy Land” was built by the Order of Hospital of Saint John the Baptist of Jerusalem. Since 2006 the castle and the suburbium systematically excavated by the Syro-Hungarian Archaeological Mission (SHAM) directed by Balázs Major (Catholic University - Hungary) and Edmond El-Ajji, Marwan Hassan (DGAM - Syria). South of Baniyas (ancient Valenia) the huge castle on a strategic position controlled the coastal road from Antiochia to Tripoli and the mountainous hinterland. Andrew II. King of Hungary (the leader of the Fifth Crusade) ordered in 1217–1218 a yearly donation of 100 silver marks (approximately 23kg) to be sent for the maintenance of Margat.

On the top of a Pliocene basalt volcano, 90% of the magnificent walls were built by hard olivine-basalt rocks, excavated from the moat and several great cisterns. The volcanic activity from Late Miocene to Quaternary produced six large areas covered by agglomerates and lava-flows in present Syria, Margat is at the western edge of the Pliocene (5.7 m.y.) Shin basalt plateau. North from Margat village above the volcanic rocks we can observe littoral to shallow-neritic sandstone and lithothamnium-bearing marl transgression series with Pliocene foraminifera association (Orthomorphina tenuicostata, Textularia concava var. jugosa and Textularia soldanii). Near Quar Qafte below the volcanic rock in the marls we have detected Pliocene deep neritic foraminifera fauna (Orbulina universa, Globigerinoides bulloideus, Globigerinoides quadrilobatus, Orthomorphina tenuicostata).

Rock quarries for useful calcareous sediments (Upper Cretaceous and Miocene limestones, Pliocene beach-rock and Pleistocene travertine) are well exposed in the area. Sedimentary rocks were used in about 10% of the castle fabric for different functions. East from the castle-hill Late Cretaceous (Santonian) carbonates and siltstones cover the western slope of the Anassariya-mountains along the Baniyas-valley. Hard limestones were preferred for the buildings, catapult bombs and for some special tools (knife-sharpening, powdering, etc.). Cretaceous cherts were used for knife, arrow-head, scraper, etc. in the Neolithic and for fire-making up to the 19th century. Around the castle underlying the Pliocene basalt, above the Santonian limestone we can observe Early Campanian (Globotruncatina elevata zone) pelagic white marl series. This type of soft carbonatic marl preferred for the decoration mostly in the Mamluk and Ottoman period. The Pliocene carbonates were used for the mortar and plaster. Quaternary travertine is common in the area, freshwater-limestone is preferred for the walls of the chapel, porous travertine often used in rhythmic decorative method with the dark basalt for the windows, doors and gates. Pliocene marl and clay from Quar Qafte and Quarter terra rossa from Nahar-river valley were practicable useful for the water/condukt pipe and pottery producing.

Special rare rocks (marble, granite) were often reused in construction from the Roman ruins of ancient Balnea (Baniyas). White marbles transported from antique quarries of Greece (Attica and islands of the Marmor Sea), primary locality of the grey marble in Anatolia (Afyon). Pink coloured Precambrian granites (syenite) rich in meat-red coloured orthoclase were transported from ancient quarries near Aswan (Egypt).

The origin of the gypsum crystals found below the chapel level is quite interesting. Nearest gypsum occurrences are in Miocene evaporite sediments around Latakia and in great distance near Palmyra. We can suggest two quite different scenarios: 1. Transported like souvenirs from a pilgrimage, on the way to the memorials of Christian saints. 2. The twin crystals of gypsum are well known as being used for windows since the Mesopotamian cultures up to the Greek- and Roman age, sometimes in the Middle Ages too. The pale green coloured steatite pectoral cross is similar to the same objects found in the crusader-age levels at Rhodos. Extraordinary find is the very characteristic durophag tooth of a Pliocene marine fish (Sparus sp.), which looks like a polished cornean half-ball, fallen from a medal or ring. Sparidae with specialized feeding apparatus for breaking the shells of molluscs, sea-urchines, crabs and corals are common from Eocene up to the Holocene in the marine fish-fauna. Recent

habitat mostly in normal salinity, warm temperate, clear waters of the reef facies in the Indopacificum, some species occur in the Mediterranean too. The fossil fish teeth of Neogene Sparus and Mesozoic Lepidotus like „toadstone”, or „serpent eye” were preferred in the Middle Age as protective amulets and medicine against poisons or snakebites. In the castle we have found some well preserved Pecten shells from Pliocene marine sediments and during the summer excavation 2011 in the western suburbium one handwrought pilgrim scallop shell made from the left valve of a recent Mediterranean scallop (*Pecten jacobaeus*) too. Both finds are argued evidences for the memory of Santiago de Compostella and Jerusalem pilgrimage. The Pliocene limestone and sandstone used for mortar and plaster. The fossil fish teeth and the pliocen Pecten shells were found by the contemporary stone cutters, builders as cutting and powdering the rocks. Polished piece of a pink-coral probably transported by the Silk Road from Asia, as in the Mediterranean only the red coral (*Corallium rubrum*) is common, but the pink is very rare.

Different rocks, minerals and fossils found by the archaeological excavation of the Margat castle suggesting lot type of connections (rock transport, reused rocks, change, trade, souvenirs, pilgrimage, etc.) during the XI-XIII century in the history of Near East.

Tárgyszavak: Szíria, Margat (Qal'at al-Markab, Szíria), alsó-campani, pliocén, foraminiferák, pliocén bazalt, régészeti geológia, régi kőbányák, ókori kőzetimport, gipszkristály, steatit mellkereszt, Sparus sp., kígyószem, Pecten jacobaeus, Szent Jakab kagyló zarándokjelvény, nemes korall

### Kivonat

A Szentföld legnagyobb keresztés vára az Ispotályos lovagrend által Szíriában kiépített Margat (al-Markab Citadel, Qal'at al-Markab), melyet Major Balázs régész vezetésével, a Szír-Magyar Régészeti Misszió (SHAM) keretében tárnak föl. A tágabb terület geológiai felépítését a jurától a miocénig karbonátos üledékek, pliocén bazalt, -márga és -mészhomok, kvarter édesvízi mészkő és teraszkavics alkotják. A régió részletesebb földtani megismerését a begyűjtött kőzetmintákból feltárt foraminifera vizsgálatokkal tovább pontosítva alsó-campani és pliocén tengeri képződményeket sikerült beazonosítani.

A pliocén bazalt vulkán kipreparálódott kürtőjét koronázó vár jórésze a várárokból és a hatalmas ciszternákból kitermelt olivines bazaltból épült föl, de számos más kőzetet is fölhasználtak. A környéken megtalálhatók a felső kréta tüzköves- és márgás mészkőbe, pliocén márgába- és mészhomokba, valamint a kvarter édesvízi mészkőbe mélyült egykori kisebb kőfejtők. A közeli Bánjász (Balnea) római épületeiből hozták a várba az attikai fehér márvány-, afyoni sűrű márvány- és asszuáni ortoklászos vörös gránit faragványokat. Az ásások során előkerült változatos kőzet (júra- és kréta tüzkő, obszidián, metamorf zöldpala, csillámos gneisz, stb), ásvány- (gipsz kristályok, steatit mellkereszt, freskó pigmentek), ősmaradvány- (miocén Sparus sp. fog) és szubrecens (*Pecten jacobaeus* zarándokjelvény, *Corallium rubrum*) leletek számos kulturális-, technikai- és kereskedelmi kapcsolatra utalnak.

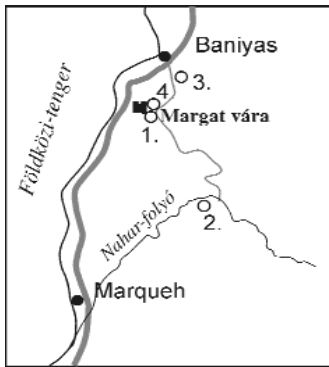
## Bevezetés

Major Balázs régészt, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Arab Tanszékének oktatóját 2006-ban a Szíriai Arab Köztársaság Kulturális Minisztériuma fölkérte Margat, az egykori Szentföld legnagyobb (6,7 hektár kiterjedésű!) keresztés várának (MAJOR 2008) feltárására. A kutatást a Katolikus Egyetem kutatási programjaként működő Szíriai–Magyar Régészeti Misszió (SHAM – Syro-Hungarian Archaeological Mission) a Szíriai Régészeti Főigazgatósággal közösen végzi. A SHAM fő támogatója a szír Kulturális Minisztérium, magyar részről a Mol NyRt., valamint néhány hazai vállalat és magánszemély, ezen túl az önkéntes résztvevők (kutatók, diákok) és anyaintézményeik önzetlen munkája segíti a vár feltárását és a magyarországi földolgozást. A budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Óslénytani Tanszékének vezetője Kázmér Miklós a földrengek nyomait (KÁZMÉR 2008), valamint a faszén- és salak maradványokat vizsgálja. Jómagam 2009-ben, 2010-ben és 2011-ben önkéntesként vettem részt a nyári ásáson, a környék geológiáját, a vár építéséhez fölhasznált képződményeket, a régi bányákat, valamint a feltárások során előkerült kőzeteket, ásványokat és ősmaradványokat kutatom.

## Rövid történeti áttekintés

Az Anaszárijja-hegységnek a Földközi-tengerre néző nyugati lejtője és a tengerparti sáv a régészeti leletek tanúsága szerint az őskor óta lakott, a stratégiaileg jelentős terület bővelkedik a Közel-Kelet ókori történelmének magas kultúráit reprezentáló emlékekben. A Bizánci Birodalom számára Egyiptom elvesztése (639) után Szíria volt az egyik legfontosabb élelem-termelő tartomány, így a késő antikvitás alatt föllendülő Észak-Szíriában több ezer település élte virágkorát (MAJOR, SZÉCSI 2004). Az erődítményekkel védett keleti régió a szeldzsukoktól elszenvedett mazinkerti csatavesztés (1071) után török és arab fennhatóság alá került, egyre gyakoribbak lettek a keresztény lakosságot és a Jeruzsálemben tartó zarándokokat ért támadások.

A Szentföldre tartó zarándoklatok védelmére és Jeruzsálem visszafoglalásának céljával meghirdetett első keresztés hadjárat gyors hadi sikereinek köszönhetően megalakult első keresztés államok (Jeruzsálemi Királyság, Tripoliszi Grófság, Antiochiai Hercegség, Edesszai Grófság) által kiépített erődítmény láncolat egyik legfontosabb tagja lett az Antiochia és Tripolisz közt félúton fölépített Margat vára (1. ábra). A 360 m magas hegycsúcson az 1062-ben épült arab vár kiváló stratégiai pozíciójának megfelelően az



**1. ábra.** Margat környékének térképe a Foraminifera minták lelőhelyével  
1. alsó-campani mészmárga, Pliocén: 2. mészmárga, 3. bazalttra települő meszes homok, 4. meszes homokkő

**Figure 1.** Map with the locality of the Foraminifera samples

1 – Early Campanian calcareous marl, Pliocene: 2 – calcareous marl, 3 – basalt and calcareous sand, 4. calcareous sandstone

al-Markab (Megfigyelőhely) nevet kapta. Az első keresztres hadjárat végén Roger 1117-ben elfoglalja (RUNCIMAN 1993), frankokat és örményeket telepít be. A polgárháborús időkben az arabok visszafoglalják, végül 1140-től II. Renaud de Mazoir megszerzi, és a család birtokolja közel ötven éven át.

A Mazoirok 1187. február 1.-én a várat eladták az Ispótyalos Lovagrendnek, akik alig tizenöt év alatt kettős falgyűrűvel védett hatalmas erődítménnyé (1. kép) építették ki (BOSWORTH et al 1991), melyben a zarándokok gyógyítására kórházat működtettek.

II. András királyunk 1217-es adományának (23 kg ezüst) is köszönhetően új építkezést követően az 1220-as években a vár a hozzá tartozó települések tekintélyes birtokközpontja lett. 1285 tavaszán Qalávún szultán május 25-én a várba bevonulva szabad elvonulást biztosít a védőknek.

A vár a mamelukok alatt kezdetben börtön, majd tartományi központ, az aleppói emírnek alárendelt margati várurak a tekintélyes fellegrárnak köszönhetően bizonyos fokú önállóságot is élveztek. Az erőd az első világháborúban katonai szerepet kap a suburbiumban 1958-ban még laktak.



**1. kép.** Margat vára

*Photo 1.* Margat castle

Az ötödik éve folyó magyar–szír kutatások eredményeként, a gazdag leletanyagon túl, fény derül az épületek hajdani rendeltetésére, a hadászati építményeken, az egyedülálló víz- és csatornarendszeren túl az önellátásra berendezkedett városban templomok, kórház, fürdők, konyhák, hatalmas raktárak, különféle műhelyek tárultak föl. Valódi régészeti szenzációnak számítanak a vártemplomban a magyar freskorestaurátorok munkájának köszönhetően megismert keresztres kori színes freskók.

## A terület geológiája

Margat vára Latakia és Tartús közt, Bánjásztól délnyugatra (1. ábra) terül el, a falak a tengerparttól légvonalban 3,5 km-re keletre lévő Margat falutól délre emelkedő 360 m magas hegy fennsíkját övezik.

Szíria geológiai képződményeinek első részletes bemutatását DUBERTET (1963) állította össze, a legutóbbi kutatásokról KRASHENINNIKOV (2005) számolt be monográfiájában.

Az Arábiai platform nyugati szélén Libanon és Szíria parti hegységei párhuzamosan futnak a tengerparttal, a holt-tengeri- és az akabai-árok északi folytatásaként az Al Ghab árok az É–D irányban húzódó Anaszáríjja-hegység nyugati oldalát választja el a keleti területektől. A nyugati lejtőt kréta korú tengeri mészkő, tűzkő és márga alkotja. Erősödő tektonikus hatásra a régió lassan kiemelkedett, eocén elvételre maradt meg, az oligocén erodálódott, de a kora-miocén süllyedést követő tengerelöntés sorozata sokhelyütt megfigyelhető. Margatnál a pliocén bazalt coniaci–campani mészmárgára ömlött, délre Quar Kafténél pliocén tengeri márgás sorozatra települ. A vulkanizmust késő-pliocén transzgresszió, majd kiemelkedés követte, a kvarterben intenzív édesvízi mészkőképződés zajlott.

## Mezozoikumtól a pliocénig

Jura korú tengeri karbonátos sorozat építi föl az Anaszáríjje-hegység csúcsrégióját és a keleti lejtőket, Qadmúsz körül foraminiferával datált (KUZNETSOVA et. al. 1996) oxfordi–tithon települ gazdag makrofaunával, Missnél középső-jura dolomit előfordulás ismert. Margattól keletre a Bánjász folyó völgyében elvételre található néhány, a távolabbi háttérből lepusztult sávós, rózsaszín jura kavics.

Santoni korú tűzköves mészkőből épül föl az Anaszáríjje-hegység nyugati része, így a Bánjász folyó völgye és a fölé magasodó hegyvonulat is, a lemezes, pados mészkő (2. kép) tűzkőszávokkal váltakozik. Aleppó citadellája *Acteonella* csigákban gazdag senon mészkőből álló impozáns sabsércet koronáz, *Hippurites*-ek láthatók Safitában a campani rudistás mészkőből épült templomos vár kváderkövein. A campanitól a maastrichtiig a Déli-Tethys-óceán északnyugati partközeli vizeiben élő *Rudista* fajok közt (STEUBER, LÖSER 2000) endemikus jelenségeket figyelt meg a szíriai lelőhelyeken. Ugyancsak senon mészkő alkotta sziklafal karsztjából ered a római Balnea, fürdőit és malmait tápláló bővízü forrás. Bánjásztól északra a kréta mészkő-



2. kép. Felső-kréta tűzköves mészkő a Bánjász-folyó völgyében

Photo 2. Upper Cretaceous cherty limestone in the valley of the Baniyas-river



3. kép. Felső-kréta mészkő Gastropoda metszetekkel Bánjásztól északra a kőbánya előtt

Photo 3. Upper Cretaceous limestone with Gastropods at the rock-quarry north from Baniyas

bányához vezető út bevágásában vastagpados mészkőben tengeri csigák sorakoznak (3. kép).

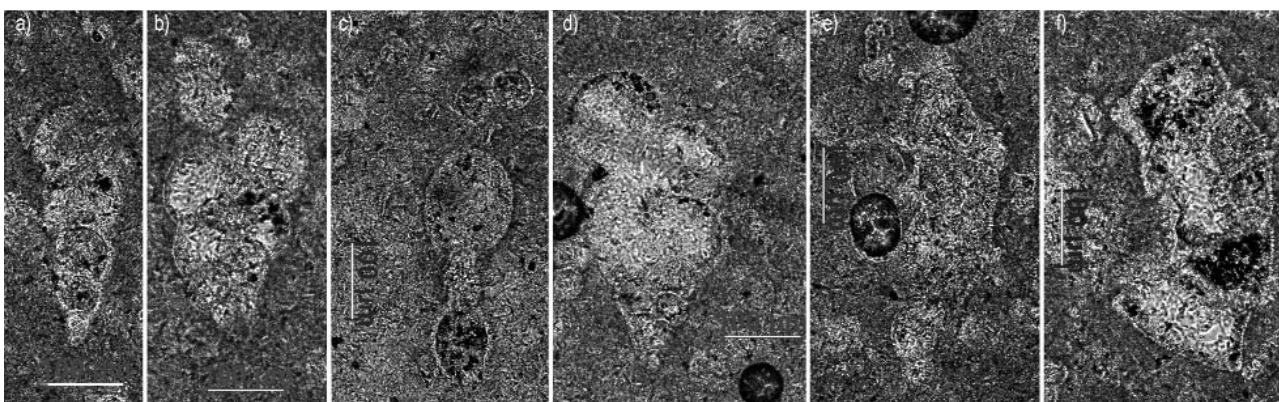
Tartús és Bánjász közelében a fiatalabb képződmények alatt néhol kibukkan a felső-kréta márgás rétegsor, melyet

Margat körül több helyen megmintáztunk. A várhegy keleti lejtőjén pliocén vulkanit alatt húzódó fehér színű mészmárga (2. térkép, 1. lelőhely) gazdag Foraminifera-együttest (SZUROMINÉ KORECZ 2011) tartalmaz. A pelágikus fáciesben leülepedett képződmény a *Heterohelix reussi* (Cushman) (4. kép, a) és a *Pseudoguembelina costulata* (Cushman) (4. kép, b) együttes előfordulása alapján a *Globotruncatina elevata* zóna idősebb szakaszába (CARON 1985, PREMOLI SILVA 1994) sorolható, kora alsó-campani. Az együttesben a planktonok domináltak, csupán néhány bentosz forma (*Lagena* sp., *Nodosaria* sp. *Omphalocyclus* sp.) került elő. A planktonok között a *Globigerinelloides* pl. *Gobigerina messinae* (Bronnimann) (4. kép, c), *Heterohelix*, pl. *Heterohelix globulosa* (Ehrenberg) (4. kép, d), *Globotruncana* pl. *Globotruncana arca* (Cushman) (4. kép, e) és a *Globotruncanina* pl. *Globotruncantina elevata* (Brotzen) (4. kép, f) nemzetség képviselői szerepeltek a legnagyobb számban. Ugyancsak felső-kréta, márgával váltakozó mészkő táru föl pliocén vulkanit alatt a vártól nyugatra Albaszija falunál és a Burdzs al-Szabí felé futó vádikban. Néhol látni a szervesanyag bomlásából maradt markazit utáni limonitcsomókat, a marakleai tengerparton nagyritkán *Exogyra* kagylók ülnek a grypheás márgás mészkőben. Kréta felszíni mállásra, bauxitos áthalmazásra utaló néhány kisebb mészkőtöredék csupán elvétve ismert a vár építőanyagában.

### Pliocén

A Keleti-Mediterráneumot átformáló neogén bazaltvulkanizmus a mai Szíria területén a pliocénben érte el csúcspontját. Margattól délre, a Tartus előtt tengerbe ömlő Nahar folyó völgye fölött emelkedő Quar Kafte (Koponya-hegy) déli lábánál (2. térkép, 2. lelőhely) a bazalt alatt pliocén tengeri üledéksort tár fel a lejtő bevágása (5. kép), a szürke színű, rétegzett, makrofaunában szegény agyagmárgára világossárga, molluszkákban gazdag mészhomok települ.

A begyűjtött két minta változatos, viszonylag gazdag egyed- és fajszámmal bíró Foraminifera-együttest (SZEGŐ



4. kép. a) *Heterohelix reussi* (CUSHMAN), b) *Pseudoguembelina costulata* (CUSHMAN), c) *Globigerina messinae* (BRONNIMANN), d) *Heterohelix globulosa* (EHRENBERG), e) *Globotruncana arca* (CUSHMAN), f) *Globotruncantina elevata* (BROTZEN)

Photo 4. a) *Heterohelix reussi* (CUSHMAN), b) *Pseudoguembelina costulata* (CUSHMAN), c) *Globigerina messinae* (BRONNIMANN), d) *Heterohelix globulosa* (EHRENBERG), e) *Globotruncana arca* (CUSHMAN), f) *Globotruncantina elevata* (BROTZEN)





5. kép. Pliocén márgasorozat Quar Kafté-tól délre  
 Photo 5. Pliocene marl series south from Quar Kafté

2011b) tartalmaz(6. kép). A bentosz domináns fajai a *Bolivina arta* (MACFAYDEN), *Heterolepa bellincioni* (GIANNINI-TAVANI), *Nonion commune* (D'ORBIGNY) és a *Textularia gramen* (D'ORBIGNY), míg a plankton uralkodó taxonjai az *Orbulina universa* (D'ORBIGNY), *Globigerinoides bulloideus* (CRESCENTI) és *Globigerinoides quadrilobatus* (D'ORBIGNY). Az őskörnyezeti körülményeket kutatva megállapíthatjuk, hogy mindkét asszociáció a szubtrópusi és mérsékelt fauna provinciákra (KENNETH, SIRNIVASAN 1983) jellemző. Többnyire széles elterjedésű kozmopolita formák, melyek a normál sótartalmú, középső-külső neritikus (30–200 méter mély) tengerek (VAN MORKHOVEN 1985) lakói.

A biosztratigráfiai értékelés alapját az *Orthomorpha tenuicostata* (COSTA) előfordulása adja, mely index faj a pliocénben (AGIP S.p.a. 1982) jelenik meg. A taxon megléte, valamint az asszociáció további általános összetétele indokolja, hogy az 1. számú minta korát pliocénnek (DARBAS et



6. kép. Pliocén foraminiférák. a) *Marginulina costata* (BATSCH), b) *Heterolepa bellincioni* (GIANNINI-TAVANI), c) *Globigerinoides quadrilobatus* (D'ORBIGNY)

Photo 6. Pliocene Foraminifers. a) *Marginulina costata* (BATSCH), b) *Heterolepa bellincioni* (GIANNINI-TAVANI), c) *Globigerinoides quadrilobatus* (D'ORBIGNY)

al. 2007) tekintsük. A második mintában ugyan hiányoznak az index fajok, de mivel a mikrofauna összetétele nagy hasonlóságot mutat az előzővel, az analógia alapján kora nagy valószínűséggel (SZEGŐ 2011b) szintűgy pliocén.

A 10–4,5 millió év közt zajlott Shin bazaltvulkanizmus képződményei, agglomerátumok, lávafolyamok, tufák, tufabreccsák, törmelékszórások, salakárak jellemzőek a tágabb környezetre. Bányász és Tartúsz közt két kis bazaltvulkáni terület van, az északi (nagyobb) Margat központtal és a déli (kisebb) Quar Kafténél. A salakárak és lávanyelvek sokhelyütt a tengerig érnek és a tenger mai szintje alatt is folytatódnak, a vulkanit hője az alatta lévő fehéres-világosszürke felső-kréta mészmárgákat 4–8 cm vastagságban sárgás téglaszínűre át is égette. Margat falutól keletre a forrás körül kialakított fürdőknél is felső-kréta mészmárgára ömlött a bazaltláva. Az ismétlődő kitörések során lezúduló lávafolyamok kötegeit figyelhetjük meg a vár följárójánál. Alsó szintjükben függőleges gázkilépések vékony csatornáit, felső szintjükben gázbuborékok látszanak (7. kép), a lávafolyam felső pár centiméteres sávja rozsdabarna színűre oxidálódott. A törmelékszórásokban (8. kép) kötél-láva darabokat, bazaltbombákat láthatunk, sokukon sugaras kihülési szerkezet alakult ki, másutt durva-, közepes- és finom lapillirétegek váltakoznak egymással. A déli Qaláwún torony tövében elszórtan fehér kalcittal kitöltött 1–2 cm-es hólyagiüregek (9. kép, a) vannak a kékeszürke bazaltban, néhol az üregekben fennőtt víztiszta kalcit



7. kép. Lávafolyam gőzkilépések csatornáival  
 Photo 7. Lavaflow with steam channels



8. kép. Agglomerátum bazalt bombákkal  
 Photo 8. Agglomerates with basalt bombs

szkalenoéder látható. Margat falutól északra emelkedő kis hegyen és a vártól nyugatra lévő Adíma előtt felszínre bukkan a repedésekkel és ásványkiválásokkal dúsan átszőtt, hidrotermálkkal átjárt, meglehetősen széteső, szürke, néhol barnásszürke kokkolitos bazalt. A víztiszta gömbös-vesés hiyalitokon és fennőtt romboédeses kalciton kívül aragonit található (Kónya P. szóbeli közlés).

Margat falutól északra emelkedő kis hegy tövében (1. ábra, 3. lelőhely) jól megfigyelhető a bazaltvulkanizmus utolsó szakasza és a fokozódó tengerelöntés. A lávaömlésre *Ostreákkal*, *Anomiákkal* meszes-homok települ, melyben fölfelé egyre kisebb bazaltbombák (9. kép, b) ülnek elszórtan, mindezt makrofaunában (*Pecten*, *Cardium*, *Conus*, *Echinodermata* fajok) gazdag meszes homokkő borítja be. Mivel a margati bazaltok, nem voltak alkalmasak kormeg-

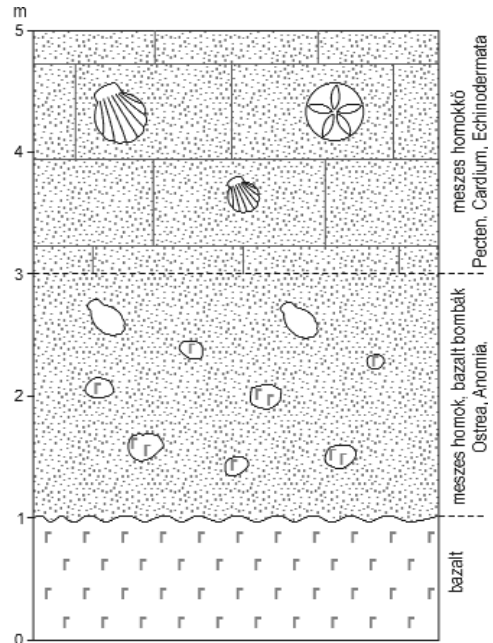


9. kép. a) Kalcitos üregek bazaltban a vár déli tövében, b) felső-pliocén tengerbe hullott vulkáni bombák Margat falutól északra

**Photo 9.** a) Calcite bubbles in the basalt at the southern edge of the castle, b) volcanic bombs fallen into the Upper Pliocene sea, north from Margat village

határozásra, így megmintáztuk a meszes homokkővet (2. ábra). A minták alapján a Margat falutól északra levő feltárás két rétegének foraminifera asszociációja (Szegő 2011a) hasonló társulást mutat, míg a falutól délre eső (1. ábra, 4. lelőhely) meszes homokkőé eltérő. Ez a különbség leginkább faj- és egyedszám csökkenésben és a plankton hiányában nyilvánul meg.

Az M-2, M-3-as minták domináns taxonjai a *Textularia soldani* FORNASINI, *Amphistegina lessonii* D'ORBIGNY, *Elphidium crispum* (LINNE) és *Globigerinoida bulloides* D'ORBIGNY. A mindkét mintában együttesen található fajok ökológiai igényeit recens analógiák alapján vizsgálva, a középső neritikus (self) zóna (30-100 m) rekonstruálható. Előfordulási helyük a szubtrópusi, mérsékelt öv normál sótartalmú régiója. Az M-2 mintában gyakori *Amphistegina lessonii* a korallzátonyok és lagúnák (MURRAY 1991, GEBHARDT 1994) jellemző foraminiferája. A biosztratigráfiai értékelés alapját az M-3 mintában előforduló *Orthomorphina tenuicostata* (COSTA) előfordulása adja meg, amennyiben ez a taxon a pliocénben jelenik meg, továbbá ugyancsak ezt a kort



2. ábra. Pliocén transzgressziós rétegsor Margat falutól északra.

**Figure 2.** Pliocene transgression series north of Margat village

támasztja alá az M-2 mintából meghatározható *Textularia concava* (Karrer) var. *jugosa* Silvestri és a *Textularia soldanii* FORNASINI is (Agip. S.p.a. 1982).

A falutól délre gyűjtött M-4 kőzetminta faunája az előzőeknél jóval szegényesebb, a kis egyed- és fajszámú asszociáció az *Ostracoda* féltékenők és *Echinoidea* tüskék mellett csak gyéren tartalmaz bentosz foraminiferákat. Az M-4 mintában található együttesből kitűnik, hogy ezen a területen valamilyen nyilvánvalóan drasztikus ökológiai változás érte a populációt, mely egyúttal jelentős egyed- és fajszám csökkenést is szenvedett. Összefoglalva a Margat falutól északra eső területek kora a foraminifera fauna alapján pliocén (alsó-pliocén?), míg az ettől délre eső rétegek kora a gyér és jellegtelen fauna alapján bizonytalan, de a terület geológiai viszonyai (KRASCHENINNIKOV 2005) alapján ugyancsak pliocén. A fentiek alapján a vulkanizmust záró transzgressziós rétegsor pliocén kora biosztratigráfiai megerősítést nyert.

Pliocén korú összecementálódott sekélytengeri-parti mészhomok (beach-rock) rétegekből fejtették Amrítban a föníciai toronysírok anyagát a helyszínen. Pliocén tengeri fauna ismert Bánjásztól keletre, Husszain al-Baharnál és Sahstól délre.

### Kvarter

Nagy területen, elsősorban a tengerparti régióban fordul elő a tömöttebb, fehéres, drappos színű édesvízi mészkő és mésztufa. A mészben gazdag vizek az időközben kiemelkedett pliocén tengeri üledékeket is sokszor átjárták, így nemritkán tengeri molluszkák héjai is megfigyelhetők a

pleisztocén mészkőben. Bánjásztól északra a jórészt édesvízi mészkőből épült Szaladin-hídtól nem messze, a strandtól délre lévő útbeágásban látszik közvetlenül a kréta mészkőre települt vörösagyagos travertínó. Ugyancsak édesvízi mészkő alkotja a közelben lévő Tell de Rock-nak a lapályból kiemelkedő dombját is, amint a reá települt falucska épületei és az alatta megbúvó antik romok építőkövei is jelzik. Tartusz környéki travertínóból épült föl az ókori és középkori kikötőváros, valamint a föníciai és római Amrít. Folyamatosan egymásra települt édesvízi mészkő sorozat építette föl Arwad (Ruad) szigetét, az itt faragott gigantikus tömbökből rötták össze a föníciaiak a hatalmas falakat, ebből épült a templomos lovagok vára és az arab erőd is, akárcsak a sziget összes többi építménye.

Tartustól északra a Nahar folyó völgye 20 méter vastag kvarter folyami kavicsot tár föl, melyet bányásznak is, a sorozatra terra rossás vörösagyagos képződmény (10. kép) települ. A kavicsok anyaga túlnyomórészt felső-kréta mészkő és alárendelten pliocén bazalt.

A holocént az erózióknak kitett hegyoldalokban intenzív mállás, aprózódás és lepusztulás jellemzi, a természetes



**10. kép.** Kvarter kavicsorozat vörössaggal a Nahar folyó völgyében  
*Photo 10. Quarter pebble series with terra rossa in the valley of Nahar River*

növénytakaró jó része az elmúlt évezredekben az emberi tevékenység áldozatául esett, a talajpusztulás ellen évezredek óta teraszos műveléssel próbálnak védekezni. A neolitikumtól lakott margati várhegyen holocén talajképződés figyelhető meg a mállott bazalton.

### Földrengések nyomai a várban és a környéken

A területet számos pusztító földrengés sújtotta, melyek közt az egyik leghírhedtebb Kr. u. 551-ben egy 7-es erősségű volt, a krónikák szerint harmincezer ember halálát okozva Bejrúttól Tripoliig pusztított (ELIAS et al. 2007). A rengéshullámok rengeteg áldozatot követelő hatalmas cunamit is gerjesztettek.

Az Arábiai- és az Európai-lemez ütközése, az Afrikai-közetlemez szubdukciója az Európai-lemez alá a hellén és

ciprusi szigetívek mentén, a hellén régió tágulása, a mélytörések (holt-tengeri transzform töréstől, al-Gháb főtörésen át az Észak-Anatóliai törésig) a rengések geodinamikai okozói.

1202. május 20-án, az egész Közel-Keletet sújtó és több százezer áldozatot követelő 7,6 -os rengés során, 1200 km sugarú körben Egyiptomtól Ciprusig a cunami partra dobta a hajókat, a tragédiáról az arab krónikák (in: SCHOENLEBER 2010) részletesen beszámolnak. Az egymást követő, katasztrofális erejű rengések intenzitására jellemző, hogy a szíriai al-Haríf patakánál Kr.u. 40 és 60 közt épült római vízvezeték, mely a holt-tengeri törésvonal északi folytatásában lévő al-Gháb árokban van, 13,6 méteres (!) balos elmozdulást szenvedett (MEGHRAOUI et al. 2003) az elmúlt alig kétezer év alatt!

Margatot és tágabb környékét elsősorban a keletre húzó al-Ghab főtörés mentén kipattant rengések sújtották. A vár közel 180 éven át volt a keresztések birtokában, így a sorozatos földrengések (1114, 1157, 1170, 1202, 1268) ismételt újjáépítéseket és megerősítéseket tettek szükségessé. A közelben a főtörés irányával közel azonos (10°/190°) irányú törést mértek ki (AL-ISSA 2006), melyet az al-Shín töréshez kapcsolódó kelet–nyugat irányú törések harántolnak. A várban az épületek falain, boltozatán számos kisebb-nagyobb repedés és elmozdulás (függőlegesen és vízszintesen elcsúszott kváderkövek stb) figyelhető meg ma is. Különösen szembetűnő a lakótorony déli oldalán egy 4-5 méter magas „V” alakban, 10-15 cm-re kiugró (11. kép) falszakasz. Az építési eljárásnak köszönhetően (a többretegű köpenyfalon belül égetett mésszel betonszerűvé összeceментált töltelékkövek) nem hullottak le a kváder-



**11. kép.** Földrengés okozta "V" alakú falkiugrás a donjon déli részén  
*Photo 11. Earth-quake caused "V" form projection of the wall on the southern side of the keep*

kövek, hanem az egész 5 méter vastag falszakasz egy tömbben mozdult ki. Hasonló falkiugrásokat figyelhetünk meg Szafitában a templomos lakótorony lovagtermében is. Margat földrengés okozta sérüléseit KÁZMÉR (2008) vizsgálta részletesen.

## Miből épült a vár?

Margat vára egy 5,7 millió éves bazaltvulkán csúcsát koronázza. A stratégiai fontosságú magaslat már az őskor óta lakott volt.

A vár ismert építési periódusait, megelőző korszakokból római (szentély?) épület újra felhasznált kőanyagára utalnak azok a méteres márvány kváderkövek, melyek a belső kaputorony alapjába (12. kép) vannak beépítve, valamint néhány (oszlopfő, medence) faragvány is. Valószínűleg korábban is



12. kép. Hatalmas kváderkövek édesvízi mészkőből a belső kaputorony tövében

*Photo 12. Huge quader-stones at the foot of the inner tower-gate*

voltak már építmények a hegyen, hiszen a lábánál kikötőnek alkalmas, védett tengeröböl van, és itt halad át a Kelet-Anatóliát Libanonnal összekötő kereskedelmi és hadiút. A XI. századi kis arab erődöt végül a keresztések közel kétszáz évig, több szakaszban hatalmas fellegvárrá építették a korábbi épületek elemeit is felhasználva. Az antiochiai hercegek alatti építkezés során a finoman megmunkált, hosszúkás, ún. „púpos” kváderkövek Margat esetében is jellegzetes domború kialakítást kaptak. A régészeti, építészettörténeti kutatások a váron belül az ispotályos korban legkevesebb három nagyobb építési hullámot különböztetnek meg. Az ismétlődő földrengések és egymást követő ostromok utáni újjáépítések, átépítések, megerősítések és bővítések miatt az építmények periodizációja rendkívül összetett feladat, melyet az adott időszak alatt végbemenő építészeti-, haditechnikai- célú és stílusbeli változások is tovább bonyolítanak

A vár és a tengerparti keresztés őrtorony legfőbb építőanyaga a kékesszürke olivines **bazalt**. A kürtököltés kemény, tömör, ütészálló bazaltját használták az ostromnak közvetlenül kitett, vagy stratégiai és statikailag fontos szakaszon. A nyugati suburbium épületeit, várfalait és őrtornyait is 95%-ban ebből a bazaltból emelték. A kisebb hólyagüregekkel átjárt bazalt kevésbé bírja az ismétlődő ütések, ám jobb hő- és hangszigetelő. Belső terek elválasztó falaihoz használták és a köpenyfalon belül tölteléknek, valamint megőrölve habarcsba és vakolatba keverték.

A bazalton kívül alárendelten a környéken előforduló üledékes kőzeteket (kréta mészkövek- és márgák, pliocén travertínó) is fölhasználták az építkezésekhez, de szinte kizárólag az ostromtól védettebb belső udvarokban, belső falaknál, ablak-, ajtókeretnek és faragványokhoz alkalmazták, valamint a bazaltból rakott köpenyfalon belül töltelék-kőnek használták.

A belsővárba vezető második kaputorony tövében már korábban említettekén kívül a templomnál és a keleti „két-oszlopos” terem alatt is megvannak a hatalmas (a többinél vagy négyszeres méretű), tömött, fehér színű **édesvízi mészkőből** faragott kváderkövek, melyek egy korai építési szakasz emlékei. Az északkeleti várfalban egy mészkőből rakott falszakasz valószínűleg a Mazoirok alatt épülhetett, ugyancsak ebből az időből származik a vártemplom alatt talált és mészkőből faragott ablakpárkány töredéke.

A könnyebben faragható **travertínó** lukacsos volta miatt remek hő- és hangszigetelő, de porlékony lévén a katapultok lövedékei ellen kevésbé alkalmas. Margatban néhol a kapuk, ajtók, ablakok boltívet rakták ki édesvízi mészkőből, kettős boltívet emeltek belőle a templom északi falának tövében lévő ciszterna kútjánál. A donjonból a lovagterembe vezető átjárónál és a templom déli sekrestyéjébe nyíló ajtónál vörösgyagban dúsabb travertínót használtak, melynek egyharmada már elmállott. A márványhoz hasonlatos tömör, fehér, ám az idők során néha sárgásra fakuló változata a vártemplomnál került beépítésre. A Kerbi „travertin márvány”, azaz a fehér- és sárgás szír édesvízi mészkő, napjainkban Szíria-szerte kedvelt építőanyag, külföldre is szállítanak. A komor, sötét színű bazaltból épült falakon a nyílászáróknál alkalmazott (13. kép) világos mészkő-boltívek kifejezetten dekoratívan hatnak. Édesvízi mészkőből faragták a bazaltból épített tengerparti keresztés őrtorony (Fiútorony) pártázatát is. Könnyű fajsúlyának köszönhetően hatalmas tömböket lehet belőle készíteni és helyükre emelni, így a gigászi darabokból épült falak is betölthetnek védelmi szerepet.



13. kép. Pleisztocén édesvízi mészkőből és pliocén bazaltból rakott ablak- és ajtókeretek a refektóriumban

*Photo 13. Window- and door-frames in the refectory made from Quaternary freshwater limestone and Pliocene basalt*

Margatban a keresztres kori építményeknél a kemény **kréta mészkő** elsősorban a belső terekbe került beépítésre, sokszor padlókövezésnek is. Nagyobb vaskos lapjai képezték a tornyok tetején álló katapultok és daruk alapjait, valamint a ciszterna nyílások lépcsős peremét. Kváderkőként ritkábban, főleg a bazaltból rakott köpenyfalakon belül habarcsba rakva töltelőkőnek használták föl a keresztres korban. Jóval többet találni a nyugati suburbiumban 2011-ben föltárt kápolnánál és az itteni sírok fedlapjait is ebből faragták, anyagukat a közeli vádik sziklafalaiból bányászták.

A vajfehér kréta **mész márga** faragásra ideális. Margatban a mameluk- és török kori építkezéseknél találjuk a belőle készült díszesen megmunkált (14. kép) építőelemeket.



14. kép. Mameluk kori faragvány fölső-kréta mészmárgában  
Photo 14. Mamluk-age decoration in Late-Cretaceous calcareous marl

A habarcsokhoz, vakolatokhoz nélkülözhetetlen meszet al-Markab falu északi- és déli határában felszínre bukkanó pliocén **lithothamniumos márgából** és **mészhomokból** nyerték. A habarcsot a völgyekben lévő kvarter teraszka-  
vicssal és a kőfaragás során keletkezett törmelékből zúzott bazalt- és mészkő morzsalékkal erősítették. A nyugati suburbium kápolnájánál számos „bedöglött” oltottmész maradvány is előkerült.



15. kép. Kavicspadló a belső suburbiumban  
Photo 15. Pebble-floor in the inner suburbium

A nagyobb **bazalt- és mészkő kavicsok** gondosan összeválogatott darabjaiból a belső suburbiumban föltárt épület udvarán díszesen kirakott kavicspadló (15. kép) került elő.

A vár vízellátását biztosító ciszternák föltöltéséhez használt vízvezetékcsövekhez, esőcsatornákhöz és tetőcserepekhez, valamint a kevésbé igényes edényekhez a közelben található **agyagokat** kellett fölhasználni. Margat faluból még a XIX. században is sok edényt szállítottak (BOSWORTH 1991) a bejrúti piacra. A legközelebbi agyag előfordulások a Nahar folyó völgyében található terra rosák és a Quar Kafte alatti pliocén márgás agyagok. A belsővár udvarát keletről határoló műhelyépületben számos kisebb szürkés, barnás színű agyagcsomó maradt meg a különféle munkafolyamatokból és sokhelyütt vörösgagyag-vannak kikapasztva az áztató medencék is.

Távolabb csak Tartusz körül van kerámiagyag, Homsztól nyugatra laterit (DUDICH 1983) és kaolin is ismert, ám a közeli quarter vörösgagyagokat is fölhasználhatták. A tömegigényt kielégítő tányérok közül híresek az egyszerű kivitelezésű, ám célszerű akkói tálak, viszont az igényesebb kerámia edények és különösen a vékonyfalú pompás protomajolikák, sgrafittós tálak jórésze antiochiai, ciprusi, dél-italiai, vagy spanyol import.

## Távolabbról származó faragványok

### Márvány

Szürkével erezett fehér és szürkésfehér márványból faragott oszlopfőket, oszlopokat és lábzatokat építettek be a vártemplomban és kapuin. Az ásatások során nagyritkán kerül elő egy-egy fehér márványból készült építészeti elem, oszlopfő töredék (16. kép), szőlőprés csorgója és a suburbiumban lévő püspöki palotából egy kis méretű szenteltvíztartó darabja stb.

A mai Szíria területén nincs márvány előfordulás. A szürkés márványok legközelebbi lelőhelye Anatólia, a hófehérek a Márvány-tenger szigeteiről származnak.



16. kép. Díszesen faragott márvány oszlopfő a várból  
Photo 16. Decorated marble column head from the castle

A margati márványok „újrahasznosított” darabok lehetnek valamely közeli antik palotából, vagy templomból, legvalószínűbb, hogy a közeli és a forrásai és fürdője miatt a rómaiak által is kedvelt Balanea antik romjaiból hozhatták, annál is inkább, mert az ispotályosoknak vízimalmuk is volt Valeniában (Baniyas).

### Gránit

Nagy ortoklászokban dús vörös gránit oszloptöredék hever a várban a karavánszeráj udvarán és a keleti alsó nagyteremben. A kőzet legközelebbi előfordulása Egyiptomban Asszuán környéke. Eredetileg a rómaiak hozhatták a kifaragott oszlopokat Balaneába, majd később a keresztetek Margat várába szállították föl és valamelyik reprezentatív teremnek lehettek egykor ékességei.

### Régi bányák

Kezdetben a várárkok kimélyítése és a sziklafelszín egyengetése során kialakított udvarterekből nyert bazaltból épültek a falak. A margati ispotályos fellegvár monumentális falait, épületeit a várárokból és az öt hatalmas (átlag 20×10×15 méteres) ciszterna kivésése során nyert olivines bazaltból kifaragott, zömökebb, többnyire kocka alakú kváderkövekből emelték. Később a várat övező teraszok garádicsait részben a lejtőt borító bazalt törmelékeiből és az építkezések, ostromok, földrengések során legördült kövekből rakták.

A vártól nyugatra Burj Sabi felé a vádikban senon korú karbonátos sorozat tárul föl számos kisebb kőfejtővel, a várhegy nyugati lejtőjén Adíma falu mellett is sikerült beazonosítanunk régi kőbányákat (17. kép), némelyiket pár évtizede még művelték a helybeliek. A 30-40 cm vastag mészkőkötegeket vékony márgarétegek választják el egymástól, így a kőfejtő munkások egy-egy rétegből azonos méretű tömböket tudtak levésni. A kis bányák mellett a jól osztályozott kőzetszilánkok halmai arra utalnak, hogy a kváderkövek készre faragása is itt zajlott. A vártól keletre a



17. kép. Régi kőfejtő felső-kréta korú mészkőben Adinanál

Photo 17. Ancient rock-quarry in Upper Cretaceous limestone at Adina

Bánjász folyó völgyének nyugati oldalát alkotó senon korú tűzköves mészkőben ugyancsak mélyültek kisebb kőfejtők.

### Az ásatások során előkerült kőzetek, ásványok, ősmaradványok

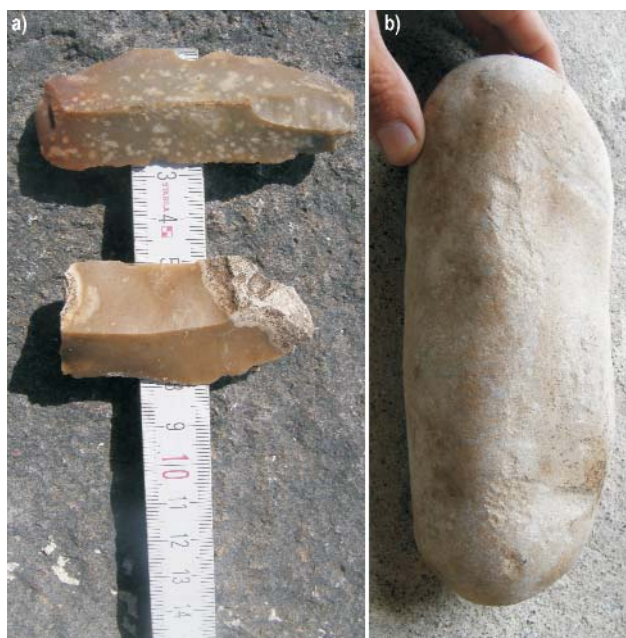
#### Kőzetek

Az ásatások során az eltemetett épületmaradványok betöltéséből kikerült kerámia-, fém- és csontmaradványokon kívül a kőzetanyagban elsősorban **tűzkőre** bukkantunk (18. kép, a). A neolitik pengékeken kívül a mozaikosan, szilánkosan tört darabkák legtöbbször a tűzgyújtások pattintékja. Az Anaszarija-hegység nyugati lejtőjének alsó szakaszában települt felső-kréta, santoni korú tűzköves mészkövek az elsődleges-, a belőlük kihulló és a Bánjász folyó által továbbított tűzkő kavicsok a kőzet másodlagos forrásai.

A konyha kemencéinek és a borpincének a feltárásakor hengeresre csiszolódott **kovásmészkő** eszközöket találtunk (18. kép, b), melyeket a használat során keletkezett kopásnyomok alapján, késfenésre, csonthéjasok tördelésére orsóknak fűszerek- vagy festékanyag őrlésére használhattak.

A hatalmas katapult lövedékeket részben a kemény **kréta mészkőből** faragták szabályos gömb alakúra, ám fölhasználták a természetből közel gömbölyded formájú kovás mészkő és bazaltcipókat is.

A jól faragható, finomszemcsés, vajfehér, **felső-kréta márgából** pipákat is készítettek. Sárgás és keményebb változatából a várban mameluk kori díszítőelemek ismertek és Tartusban a Miasszonyunk templom melletti romkeret-



18. kép. a) Neolitik pengékaparó santoni korú tűzkőből, b) Késfenének és csonthéjasok törésére használt kréta mészkő kavics a vár konyhájából

Photo 18. a) Neolithic scraper from Santonian age chert, b) Hard cretaceous limestone pebble used for knife-sharpening and seed-braking from the kitchen of the castle

ben díszesen faragott későantik ereklyetartók láthatók. Fehér kréta márgából van az a pár centi vastag lap, amely íjas eszterga alapja lehetett.

A neolit pengék közt ritkák a vöröses színű **jura radio-laritok**. Anyaguk az Anaszarija-hegység csúcsrégiójából és keleti lejtőiről kerülhetett ide.

**Obszidián** szilánkok és mikrolitok elvéve találhatók a várlejtőn, jórészt az építkezések során kidobált talajjal, kerülhetett ide a neolit rétegekből. Mint a neolitikum legkerekesebb eszközzanyaga, csere útján, vagy hadizsákmányként juthatott a törökországi Acigöl, Ciftilik pliocén, kvarter riolitjaiból a várhegy lakóinak birtokába.

A konyhában a kemence bontása során került elő egy szürkésfehér **csillámos kvarchomokkő**ből faragott kemencaajtó (19. kép, a) néhány töredéke. Előfordulási helye ismeretlen. A műhelyépületben feketés-zöld metamorfítból való fenőkövekre (19. kép, b), bukkantunk.



19. kép. a) Kemenceajtó töredéke csillámos homokkőből, b) Zöldpala fenőkő

Photo 19. a) Fragment of a fire-door from micaschist-sandstone, b) Greenschist hone stone

A **hólyagos bazaltból** hatalmas őrlőkövek és malomkövek készültek. A lakótornyot övező déli falsorosban hólyagos bazaltból faragott kis medence látható kifolyóval. Szíriában az olivaj és cukornád sajtolása is hólyagos bazaltból faragott présekkel történt az évezredek során át egész a közelmúltig és ebből készültek a mozsarak is. A keleti fal beugrójának alsó humuszos betöltéséből bazalt porítótuskót találtunk. A nagyobb tojásdad bazaltcipókat, -gömböket katapultlövedékeknek, a kisebb golyóbisnak formázottakat parittyákhoz használták.

**Édesvízi mészkő**ből faragták a vártemplomban lévő szarkofágot, a nagy belső várudvaron a mélyfeltárásban talált őrlőkövet és néhány párkányelemet, valamint lukacsos

travertinóból a borpincében feltárt élelmentárolók fedlapjait.

A belsővár nagy udvarán fekete színű mozaik háromszög idomja és egy másik fehér mozaikkocka jelzi, hogy voltak mozaikpadlók is. Volt edény- és kerámiaégető kemence is a várban, helyben készítették a vízvezető csatornák kerámiacsöveit. Előkerült pár kínai porcelán töredék, melyek a Selyemúton érkeztek ide és a keresztelős hozták a Közel-keletről át Európába.

### Ásványok

A marakleai tengerpart kavicsanyagában elvéve kisebb **achátok** találhatók, a geódák belsejében néha fennőtt kvarcok, halvány ametisztek is ülnek, szépségükre fölfigyelve innen hozhattak a várba azt az achátgömböt (20. kép, a), melynek egyik oldalán kétsíkú csiszolás is látszik.

A 2011-ben a suburbiumban feltárt kápolna melletti temető egyik sírjából egy zöldesfehér színű, finoman csiszolt 3,5×3 cm-es **steatit** mellkereszt került elő (20. kép, b), melynek színét a talk magasabb klorit tartalma adja. A halványzöld steatit legközelebbi előfordulása a ciprusi metamorf övben található.



20. kép. a) Achátgömb kezdődő csiszolással, b) Steatit mellkereszt

Photo 20. Achat-ball with previous polishing, b) Pectoral cross from steatite

A templom padozata alól egy 12 cm hosszú monoklin **gipszkristály** és egy nagyobb ikercsoport (21. kép) került elő, legközelebb Latakia torton evaporitjában van gipsz. Az ablaknak is használt nagyobb kristályok az Eufrátesz felől, kereskedők közvetítésével is eljuthattak a margati várba.

A margati vártemplomban talált keresztelős kori freskók (22. kép) **pigment** anyagából (GALAMBOS 2009) számos színezőanyagot (vas-oxidból sárga és vörös, cinnabaritból cinóbervörös, zöldföld szeladonitjából zöld) sikerült már azonosítani. A fehérhez a legjobb alapanyag a kagylóőrlemény, de a kréta globigerinás márga és a pliocén lithothamiumos márga is megfelelt. Már a rómaiak is Egyiptomból hozták a legkiválóbb vörösföldet. A cinnabaritot a mai Görögországból, vagy arab közvetítéssel Egyiptomból szerezték be. A lapis lazulit afgán földről a



21. kép. Gipszkristályok  
Photo 21. Gypsum crystals



22. kép. A vártemplom déli falán lévő freskók a keresztes korból  
Photo 22. Frescoes from the crusader age on the southern side of the castle church

Selyemúton hozták, ám értéke az arany árával vetekedett, így a kék színt a Szíriában is előforduló azuritból nyerhették. A ciprusi és a Sínai-félszigeten lévő malachitok élénk zöld színe is kedvelt volt, a feketékhez piroluzitot, vagy kormot használtak.

### Ősmaradványok

Gyűrűbe, vagy medálba foglalhatták azt a 1,5 cm átmérőjű fényes sötét narancssárga őshal (*Sparus sp.*) fogat (23. kép, a), melyre a habarcsba, vakolatba őrölt pliocén tengeri mészhomokból származhat. Állkapcsa frontális ívén véső alakú metszőfogakkal, a szájjugban kúpos szemfogakkal, a rágófelületen több sorba rendeződött kerek, ovális őrlőfogakkal felszerelt hal kagylókkal, rákokkal, tengeri sünökkel, korallokkal táplálkozik, a sekély neritikus vizek lakója, de a folyótorkolatokba, esztuáriumokba is ellátogat. Az eocéntől elterjedt, a hazai eocén- és oligocén korú rétegekben is előfordul, a miocén zátonyfáciesekben (Fertőrákos, Zebegény, Mátraszőlős stb.) és durvahomokos üledékekben (Kazár, Danitzpuszta, Csákvár stb.) gyakori (KORDOS, SOLT 1984, SOLT 1988, 1991).

A máltai miocén tengeri üledékekben talált cápa fogakat és *Sparus* fogakat mindenhová szállították és használták,



23. kép. a) Pliocén korú *Sparus sp.* őrlőfoga „kígyószem” amuletből, b) Szent Jakab kagyló (*Pecten jacobaeus*) teknőjéből készült zarándokjelvény

Photo 23. a) Molar dent of pliocen *Sparus sp.* from serpent eye amulet, b) Pilgrim scallop shell from *Pecten jacobaeus*

mint kígyómarás és méreg ellen védő „kígyónyelv”, „kígyószem” (ZAMMIT-MAEMPEL 1975) amulettként.

Találtunk néhány pliocén tengeri molluszká (*Pecten*, *Cardium*, stb.) kövületet is. A **Pectenek** többnyire jó megőrzöttségű és közel épp példányok.

### Szubrecens fauna

Ugyancsak a 2011-es nyári ásatási szezon során bukkantunk rá, a nyugati külső suburbiumban falkutatás során éremmel datált keresztes kori rétegből egy **Szent Jakab kagyló** (*Pecten jacobaeus*) felső (balfelőli), lapos teknőjének szimmetrikusra formázott, négybordányi legyezőforma cikkyére (23. kép, b), mely egyértelműen egy korabeli **zarándokjelvény**. A kórház latrinatornyánál talált halványpiros polírozott nemes korall ágacska egy Indiából hozott *Corallium secundum*-ból készült ékszerből való, mert a földközi-tengeri *Corallium rubrum* halvány változatai rendkívül ritkák

### Összefoglalás

A Margat körüli felső-kréta képződmények korát SZUROMINÉ KORECZ (2011) által meghatározott foraminiferák segítségével pontosítani lehetett (alsó-campani). A vizsgált területen a pliocén bazalvulkanizmus kora a megelőző mélyebb tengeri, idősebb pliocénből Quar Kafténél és a záró sekélyebb tengeri, fiatalabb pliocénből Margat falunál begyűjtött kőzetmintákból SZEGŐ (2011a, 2011b) által meghatározott foraminifera asszociáció alapján biostratigráfiailag is megerősítést nyert.

A vár építéshez a domináns bazalton kívül fölhasznált kőzetek (felső-kréta korú mészkövek és márgák, alsó-pliocén márgás agyag és mészhomok, felső-pliocén lithotham-



niumos márga és mészhomok, kvarter travertínó, terra rossa és kavics) természetes előfordulásait sikerült beazonosítanunk. A római épületekből „újrafölhasznált” márványok eredetét az izotóp elemzések segítségével lehet a jövőben kideríteni.

A leletek közül már eddig is kiemelt figyelmet érdemelnek a gipszkristályok, a steatit mellkereszt, a méreg ellen védő pliocén *Sparus sp.* fog, a recens *Pecten jacobaeus* teknőjéből készített zarándokjelvény és a polírozott rózsa-szín nemeskorall ágacska.

A jövőbeni feldolgozás, esetenként a műszeres anyagvizsgálatok segíthetnek majd hozzá a leletek pontosabb kiértékeléséhez. Az előkerült kőzetek, ásványok, ősmaradványok, a régészeti anyaggal együtt Szíriában vannak. A várban megkezdődött az egyik boltíves terem belső renoválása is, melyben remélhetőleg hamarosan az ásátások anyagából válogatott kiállítás nyílik. Néhány, a területre jellemző és a váron kívül terepen begyűjtött kőzetminta a MÁFI Gyűjteményében nyert elhelyezést, további vizsgálatokra az érdeklődő kutatók rendelkezésére áll.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton is köszönöm Major Balázs ásátásvezető régésznek, Maýssam Youssifnak a Szíriai Régészeti Főigazgatóság Jabalal Kirendeltsége régészének, valamint a feltárásban résztvevő szír- és magyar kollégáknak, hogy segítették terepi munkámat és a Shamnak, hogy támogatta az ásátásokon való részvételemet.

Egyben köszönöm Dudich Endre, a Magyar Állami Földtani Intézet nyugalmazott geológusa és Hála József geológus, néprajzkutató (MÁFI) értékes javaslatait, Király Editnek (MÁFI) a közzétani és Kónya Péternek (MÁFI) az ásványtani vizsgálatokat. Külön köszönöm Takácsné Biró Katalin (Magyar Nemzeti Múzeum, Régészeti Tár) és Major Balázs (Pázmány Péter Katolikus Egyetem) lektori munkáját, Simonyi Dezső (MÁFI, Szerkesztőség) nélkülözhetetlen segítségét a kézirat illusztrációs anyagának nyomdai előkészítéséhez.

## Irodalom — References

- AGIP 1982: Foraminifera Padani (Terziano e quarternario). *Atlatte iconografico e distribuzione stratigrafica*, AGIP Mineraria Spa. II. ed. 52 plate. Milano.
- AL-ISSA, M. 2006: The geological study. (Executing the master plan for Al Marqab Castle, Tartus-Syria. Part One). — *Consulting Engineering Group Annex 2* (1), 25 p.
- BOSWORTH, C. E., PELLAT, CH., DONZEL, E. J. 1991: The Encyclopedia of Islam. Vol. VI. — *Brill's Academia Publishers*, Leiden. 1044 p.
- CARON, M. 1985: Cretaceous planctonic foraminifera. — In: BOLLI, H., SAUNDERS, J. B., PERCH-NIELSEN, K. (eds): *Plankton stratigraphy. Cambridge Earth Science Series*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 17–86. 37 fig 1 tab.
- DARBAS, G., NAZIK, A., TEMEL, A., GÜRBZÜ, K. 2007: A paleoenvironmental test of the Messinian Salinity Crisis using Miocene–Pliocene clays in the Adana Basin, South Turkey. — *Elsevier B. V. doi: 10.1016/j.clay.2001.09.007*.
- DUBERTET, L. 1963: Liban, Syrie et bordure des pays voisins. — In: STROEMER L.: *Lexique stratigraphique international*, vol. III. Asie, 10. Lybia, Syrie et Jordain). Paris, pp. 251–385.
- DUDICH E., JELI I. 1983: Jelentés a szíriai útról. MÁFI–Geominfo, — *Kézirat, Bányászati Hivatal Adattára*, T: 11422. Budapest, 17 p.
- ELIAS A., TAPPONIER P., SINGH SATISH, C., KING, G. C. P., BRIAIS, A., DAERON, M., CARTON, H., SURSOCK, A., JAQUES, E., JOMAA, R., KLINGER, Y. 2007: Active thrusting offshore Mount Lebanon: Source of the tsunamigenic A.D. 551 Beirut–Tripoli earthquake. — *Geology* (35), pp. 755–758.
- GALAMBOS É. 2009: A pokol pigmentjei. — *Élet és Tudomány*, 2009/13. Budapest, pp. 400–403.
- GEBHARDT, H. 1994: Die Tap-Mergel in der Provinz Alicante (Südostspanien, Langhium bis Tortonium): Biostratigraphie, Palaeogeographie, Palaeoekologie. — *Berliner Geowiss. Abh. (A)*, 163, Berlin, 174 p.
- KÁZMÉR M. 2008: Földrengések okozta sérülések Margat keresztés várában (al-Marqab, Szíria). — *Mérnökgeológia–Kőzetmechanika*, 2008, Budapest, 7 p.
- KENNETH, J. P., SIRNIVASAN, M. S. 1983: Neogene planctonic Foraminifera. — *Hutchinson Ross Publishing Company*, New York, 265 p.
- KORDOS L., SOLT P. 1984: A magyarországi miocén tengeri gerinces faunaszintek vázlata. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1982-ről*, Budapest, pp. 347–351.
- KRASHENINNIKOV, V. A. 2005: Geological framework of the Levant. vol. 1. Cyprus and Syria. — *Historian Productions Hall*, Jeruzsálem, 498 p.
- KUZNETSOVA, K. I., GRIGELIS, A. A., ADJAMIAN, J., JARMAKAMI, E., HALLAQ, E. 1996: Zonal stratigraphy and foraminifera of the Tethyan Jurassic (Eastern Mediterranean). — *Gordon and Brench Publications*, Amsterdam, 256 p.
- MAJOR B., SZÉCSI Zs. 2004: A későantik Szíria építészeti emlékei. — *Helikon Kiadó*, Budapest, 112 p.
- MEGHRAOUI, M., GOMEZ, F., SBEINATI, R., VAN DER WOERD, J., MOUTY, M., DARKAL, A. N., RADWAN, J., LAYYOUS, I., AL NAJJAR, H., DARAWCHEH, R., HIJAZI, F., AL-GHAZZI, R., BARAZANGI, M. 2003: Evidence for 830 years of seismic quiescence from palaeoseismology, archaeoseismology and historical seismicity along the Dead Sea fault in Syria. — *Elsevier. Earth and Planetary Science Letters* (210), pp. 35–52.
- MURRAY, J. W. 1991: Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. — London. 396 p.
- PREMOLI SILVA, I., SLITER, W. 1994: Cretaceous planctic foraminiferal biostratigraphy and evolutionary trends from the Bottaccione section, Gubbio, Italy. — *Palaeontographica Italica* (82), Pisa, pp. 1–26.
- RUNCIMAN, S. 1993: *A keresztés hadjáratok története*. — Osiris Kiadó, Budapest, 1084 p.
- SCHOENLEBER M. 2010: Egy múltbéli földrengés nyomában, avagy

- az 1202-es közel-keleti földrengés az írott források tükrében. Környezettörténet 2010 konferencia, Budapest 2010. február 4–5. — *Általános Földtani Szemle Könyvtára*, 3. kötet, Hantken Kiadó, Budapest, pp. 84–85.
- SOLT P. 1988: A Mátra Múzeum őslénytani gyűjteményének halmaradványai. — *Folia Hist.-Nat. Mus. Matraense* (13), pp. 43–46.
- SOLT P. 1991: Tengeri halmaradványok a Hasznos környéki felső-miocénből. — *Földtani Intézet Évi Jelentése 1990-ről*, pp. 473–480.
- STEUBER T., LÖSER H. 2000: Species richness and abundance patterns of Tethyan cretaceous rudist bivalves (Mollusca, Hippurites) in the central-eastern Mediterranean and Middle-East, analysed from a palaeontological database. — *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162/1–2, 2000. sept. 15. pp. 75–104.
- SZEGŐ É. 2011a: Szakértői jelentés a szíriai Margat falu környékének foraminifera faunájáról. — *Kézirat*, MÁFI Múzeum Isz: Pl. 11.01.1–2011.03.1./6884–6886.
- SZEGŐ É. 2011b: Szakértői jelentés a szíriai Quar Kafte üledékéből származó mikropaleontológiai vizsgálatok eredményéről. — *Kézirat*, MÁFI Múzeum Isz: Pl. 11.04.01–05.1./6887–6888.
- SZUROMINÉ KORECZ ANDREA 2011: Jelentés a Margat–1 és –5. jelű minta foraminifera faunájáról. — *Kézirat*.
- VAN MORKHOVEN, F. P C M, BERGGREN, W., A., EDWARDS, A. S., OERTLI, H. J. 1986: Cenozoic cosmopolitan deep-water benthic Foraminifera. — *Bulletin des centres de recherches Exploration-production Elf-Aquitaine, Memoirs* 11, 421 p.
- ZAMMIT-MAEMPEL, G. 1975: Fossil Shark teeth. A Medieval Safeguard Against Poisoning. — *Melieta Historica* 6 (4), pp. 390–410.



Az Universidad Nacional Autónoma de México és a Magyar Állami Földtani Intézet  
együttműködése 1995–2010

*The Universidad Nacional Autónoma de México and the Geological Institute of Hungary  
relation of bilateral projects 1995–2010*



## Main episodes in UNAM–MÁFI relation and scientific results of the bilateral projects

*Az UNAM–MÁFI kapcsolat fő szakaszai és a bilaterális projektek tudományos eredményei*

KÁROLY BREZSNYÁNSZKY, PÉTER SCHAREK

Geological Institute of Hungary, H–1143 Budapest, Stefánia út 14.  
e-mail: brezsnyszky@mafi.hu

Keywords: international cooperation, Mexico, Hungary, UNAM, MÁFI, environmental geology, contaminated soils, professional conference

### Abstract

Since 15 years effective professional cooperation has taken place in the field of geology between two historical institutions; Universidad Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geología and Geological Institute of Hungary (MÁFI). The subsequent projects have offered opportunity for Mexican and Hungarian experts to establish cooperation, hold professional consultations and methodological meetings, present common results as well as strengthen institutional relations. In the beginnings the projects focused on environmental geology, soil science and engineering geology; however later moved into new professional areas and at the same time the range of collaborating institutions has also been widened.

Tárgyszavak: Nemzetközi együttműködés, Mexikó, Magyarország, UNAM, MÁFI, környezetföldtan, szennyezett talajok, szakmai konferencia

### Kivonat

Az utóbbi 15 év tényleges szakmai együttműködése a földtan területén két történelmi múlttal bíró intézmény, Mexikó Autonóm Egyeteme (UNAM) Földtani Intézete és a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) között zajlott. Az egymást követő projektek lehetőséget adtak a mexikói és magyar szakértőknek az együttműködésre, szakmai konzultációk és találkozók tartására, a közös eredmények bemutatására és az intézményi kapcsolatok szorosabbá fűzésére. Kezdetben a projektek a környezetföldtanra, a talajtanra és mérnökgeológiára összpontosítottak, később azonban új kutatási területeket vontak be és kiszélesítették a résztvevő intézmények körét.

A cikk időrendben halad végig az egyes projekteken, felsorolva a résztvevőket, fő eseményeiket és eredményeiket.

### Cooperating institutions

*Universidad Nacional Autónoma de México  
(UNAM), Instituto de Geología*

*Universidad Nacional Autónoma de México* (UNAM), one of the greatest and most significant universities of Mexico was founded by President Porfirio Díaz in 1910, maintaining the national character of *Real y Pontificia Universidad de México* founded in 1551. The aim of the University is to benefit the nation and mankind, train experts as well as organize and carry out research according to the needs of society and spread culture far and wide.

As a public institution, the University has wide range of autonomy. From the points of view of education, research and liberalism its operation is independent of the state as well as political and individual interests. The activity of UNAM is highly appreciated internationally; it is ranked as 47th among the universities in the world.

Several research institutes — including *Instituto de Geología* — work under the auspices of UNAM, either in the territory of *Ciudad Universitaria*, Mexico City or at provincial sites. According to Professor Zoltan de Cserna, history of *Instituto de Geología* goes back to 1886, the foundation of the state-run *Comisión Geológico Nacional*, established with the assistance of mining engineer Antonio

de Castillo. After two years, it had operated under the name *Instituto Geológico de México* until 1916. Due to one of the arrangements of the Mexican Revolution of 1910 the institution changed its name and status again (*Departamento de Exploraciones de la Secretaría de Fomento*) and received the role of a national geological survey. Since 1929 up to the present day it has functioned as a research institute under the name *Instituto de Geología* within the framework of UNAM.

### *Geological Institute of Hungary (MÁFI)*

Geological Institute of Hungary Magyar Állami Földtani Intézet — MÁFI) the oldest active scientific research institute in Hungary was established in 1869 under the name Hungarian Royal Geological Institute. Its articles of association were signed by the Emperor Francis Joseph I. The Institute has functioned as a national geological survey since its foundation. Since 2001 it has been a full member of EuroGeoSurveys. Performing its tasks financed from state budget, MÁFI offers independent and authenticated expertise for legislation, national administration and local authorities.

Its main tasks are: perform geological mapping of the territory of the country; provide basic data for applied research, planning and decision preparation; carry out hydrogeological, environmental geological, agogeological, geochemical, hydrochemical, engineering geological and other applied research, development; compile maps, geological models of given areas; assess raw material resources and discover raw material exploration possibilities; prepare impact studies; maintain and develop geological database; inform national economy and the public.

MÁFI presents its results in publications. It lays emphasis on the professional cooperation with the countries of the Carpathian Basin and Europe as well as other continents in case of common interest.

### **Beginnings**

The UNAM–MÁFI relations started in 1976 by a visit of a Hungarian team of geologists performing geological mapping at that time in Cuba to Mexico. As representatives of the Geological Institute of Hungary the experts in the team took part in the “3ro Congreso Latinoamericano de Geología” organized in Acapulco and held lectures on the results of mapping in Cuba. They got acquainted with the activity of *Instituto de Geología de la UNAM* through Professor Dr. Zoltan de Cserna who played an important role in maintaining contacts also later. The idea of creating connections on an institutional level emerged already then.

The next professional connection building episode took place in 1987 when representatives of the Central Office of Geology, Budapest as well as MÁFI, Károly Brezsnýánszky and László Korpás visited Mexico upon the invitation of *Instituto de Geología de la UNAM*. During the visit they held meetings with the leading experts of *Instituto de*

*Geología* in the course of intensive personal consultations and studied mutually the possible professional areas of institutional and personal cooperation.

However, the real institutional and personal cooperation started only years later. To provide the institutional and financial conditions of the cooperation an agreement had to be concluded between governments of Hungary and Mexico on the framework of the technical–scientific cooperation. Implementation of the several times renewed inter-governmental agreement and operation of the tender system was controlled by *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACyT) from Mexican part and National Office for Research and Technology (NKTH) from Hungarian part. It is worth mentioning that both the Mexican and Hungarian diplomatic missions followed every phase of the cooperation by supportive attention.

### **Project 1, 1995–1997**

#### *Environmental Geological, Construction Geological and Pedological Research in the Environs of Celaya, Salamanca and Guanajuato as well as in the Little Hungarian Plain*

Participants of the project: Péter Scharek, project leader (MÁFI), Károly Brezsnýánszky (MÁFI), Gábor Kiss (University of Miskolc) from Hungarian part; Gilberto Hernández Silva, project leader (UNAM), Luis F. Vasallo (UNAM), Luis Miguel Mitre (UNAM) from Mexican part.

The background of the project was provided by the intense environmental geological research of the Geological Institute of Hungary on geological, geochemical and hydrogeological basis in certain abandoned mines and industrially contaminated territories with the aim of planning the environmental rehabilitation of the area from the ‘80-ies. For the other hand, it offered a methodological opportunity for adapting the results of research carried out in the interest of maintaining the fertility of the soils of plains used for agricultural production based on the nearly one century’s practice of agogeological research.

The start of the project scheduled originally for 1995 took place only in February 1996 during the first visit of Károly Brezsnýánszky and Péter Scharek to Mexico City (Figure 1). On the basis of the recommendations of the geologists of UNAM they travelled to the western part of State Guanajuato and carried out field observations. The studied area is one of the most significant agricultural zones of Mexico, however the leather industry concentrated in León and garbage of the city mean a high risk for the soils, the subsurface water resources, and potable water stored in basin sediments. On the basis on the detected geological and environmental hazards, the Hungarian experts — together with the leaders of the city and the geologists of UNAM — designated the most contaminated northern part of Río Turbio as the exact site of the joint research. Still this year, in October–November 1996 the field studies were finished in Mexico. Further observations and sampling were carried



Ciudad de México  
19 de Febrero, 1996

Primar ancuanto  
México-Hungria  
17/II/96

Vamos a ver si el  
proyecto va a funcionar  
agui

Buena Suerte!  
Borjás

**Figure 1.** Upper part: Project members visiting Prof. Dr. Zoltán de Cserna before the first field work (From left to right: Gilberto Hernández-Silva, Péter Scharek, Károly Brezsnýánszky, Zoltán de Cserna). Lower part: The "Foundation letter" of the project, Mexico City, February 17, 1996

out in the northern basin of Río Turbio in order to get acquainted with the sedimentological and structural features of the young valley fill, taking into account the soil and water investigation results from previous years.

In order to begin the Hungarian part of the project, geologists Gilberto Hernández Silva and Luis Vassallo arrived to Hungary in August–September 1996 and got acquainted with the geological and agrogeological conditions of the Little Hungarian Plain. The field works were finished and the results were evaluated together during a next visit to Hungary (geologists Gilberto Hernández Silva and Luis Miguel Mitre) in July–September 1997.

Closing of the project and presentation of the results in public scientific sessions, conferences took place during the stay of Károly Brezsnýánszky, Gábor Kiss and Péter Scharek in Mexico (October–November 1997). Their work was met with great interest and a warm response. First, they presented their methodological recommendations at the Faculty of Science, State University of Mexico in Toluca, then gave account of their detailed geological observations in León, at the scientific session organized by *Instituto Municipal de Planificación*. The results of the joint project were published in scientific papers, reports and a digitalized map (Figure 2).

## Project 2, 1998–2000

### *Environmental Geological Research in the Valley of Río Turbio and Basin of Laguna Yuriria, State Guanajuato, Mexico*

Participants of the project: Péter Scharek, project leader (MÁFI), Miklós Kaiser (MÁFI), Imre Szabó (University of Miskolc), Gábor Kiss (University of Miskolc), Tibor Tullner (MÁFI), Csaba Centeri (Szent István University, Gödöllő) from Hungarian part; Gilberto Hernández Silva, project leader (UNAM), Otilio Arturo Acevedo Sandoval (UAEH, State University of Hidalgo in Pachuca), Jorge Lugo de la Fuente (UAEM, State University of Mexico in Toluca), Francisco Caffagi Félix (Mexico City Civil Defense) from Mexican part.

As to its subject and site, the second project is closely related to the previous one. As a result of the cooperation of the previous cycle, the aim of the project was to extend joint research and restart environmental geological, ecological investigations.

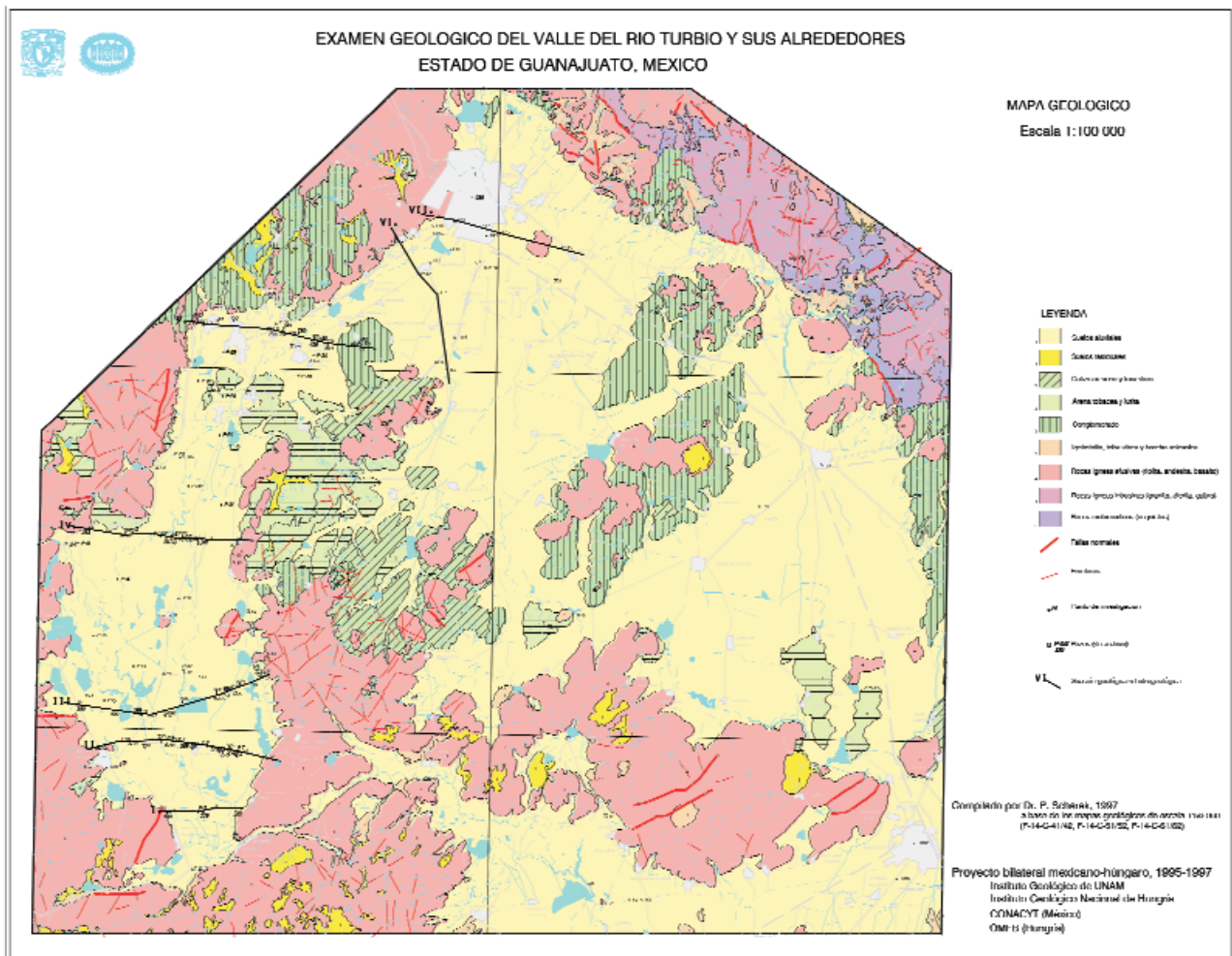
Unfortunately, the set objectives were only partly met. After the approval of the project it became clear soon that work cannot be started in 1998, because the Mexican party faced difficulties in financing travel. In order to overcome difficulties, the work plan had to be rescheduled. Besides UNAM, the continuation of research work was supported by Mexican local authorities interested in the subject.

In the frame of the project, Hungarian experts held lectures on environmental geology in conferences organized by the local authorities and universities of the cities Toluca (State Mexico), Querétaro (State Querétaro) and Celaya (State Guanajuato) in the spring of 1999. Through the lectures they intended to call attention to the problems of environmental impact utilizing Hungarian and international research experiences. The lectures revealed how to find a solution to the adverse effects of increasing industrial and municipal contaminant emission restricting agricultural production by means of environmental geological research.

Their lectures held in the environment protection conference organized by the local authority of city Celaya (State Guanajuato) were especially important, because in the preceding years they had carried out investigations along River Lerma, running across the territory, and in the valley of River Turbio as well as in the nearby Laguna Yuriria area. Their previous research focused on the detection of significant heavy metal enrichment in fluvial sediments (that can be partly explained by natural reasons) and investigation of its origin. The invitation was also due to the fact that the Hungarian experts had previously studied the potable water acquisition problems of city León (the industrial and administrative centre of State Guanajuato) and in this respect the environmental geological possibilities of establishing a new municipal waste disposal site.

The scientific significance of the visit of Mexican experts to Hungary in September 1999 is given by the establishment of contacts between the representatives of Mexican universities and Hungarian professional institutions, like Geological





**Figure 2.** Geological map of the Río Turbio valley and its surroundings  
*2. ábra. A Río Turbio völgy és környezetének földtani térképe*

Institute of Hungary; Department of Hydrogeology, University of Miskolc; Department of Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Hungarian University of Agricultural Sciences, Gödöllő (today: Szent István University) and the Aggtelek National Park. Negotiations were held on the cooperation between the represented Mexican and the visited Hungarian universities, launching of joint environmental projects and the possibilities of exchange of professors and students between the universities. During the visit cooperation agreements were also signed.

In 2000, the closing year of the project the participants gave account of the results of the cooperation through lectures in professional conferences both in Mexico and Hungary.

The site of the most significant event was the Faculty of Natural Sciences of *Universidad Autónoma del Estado de México* (UAEM) in Toluca. The conference was held in March 2000 in the framework of the “Mexican–Hungarian Scientific Week” (*Semana Científica México–Hungría*) and included five Hungarian scientific lectures.

During this same visit wide media interest was attracted by the cooperation agreement signed by the representatives

of Geological Institute of Hungary, University of Miskolc as well as *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo* (UAEH) in the presence of the Ambassador’s Deputy of the Embassy of the Republic of Hungary in the city of Pachuca. The university program included a conference on “Environmental Geology and Natural Hazards” (*Geología Ambiental y Riesgos Naturales*) where the Hungarian researchers delivered several lectures (Figure 3).

The “National Conference on Preventing Disasters” (*Congreso Nacional por la Prevención de Desastres*) held in Mexico City in March 2000 was an important site for presenting the results of the project. Organizer of the conference, the Geological Survey of the Capital (*Servicio Geológico Metropolitano del Distrito Federal*) promised to be a new natural cooperating partner for the projects of the subsequent years. Professor Dr. Zoltán de Cserna (*UNAM Instituto de Geología*) played a great role in establishing the relationship.

A great opportunity presented itself to introduce the results of the project by the visit of three Mexican researchers Gilberto Hernández Silva (UNAM, Juriquilla), Jorge Lugo de la Fuente (UAEH, Toluca) and Francisco Caffagi Félix (Mexico City



**Figure 3.** Mexican and Hungarian project members in Pachuca with Ms Teréz Dörömbözy, Secretary of Scientific Cooperation, Hungarian Embassy in Mexico

**3. ábra.** Mexikói és Magyar project tagok Pachucaban Dörömbözy Terézzel, a magyar nagykövetség TÉT titkárával

Civil Defense) to Hungary in September 2000. Lectures and presentations were held in the Geological Institute of Hungary; at the Department of Hydrogeology and Engineering Geology, University of Miskolc; at the Department of Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Szent István University and in the Seismological Observatory of the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences; furthermore the participants met the leaders of Hungarian Civil Protection.

The project that lasted for many years, yielded several important joint scientific results and created extensive partnership relations was closed in Mexico in October 2000 during the “International University Soil Science Congress” (*Congreso Universitario Internacional de Edafología*) organized in the College (*Colegio de Posgraduados*) of Texcoco (State Mexico) where four lectures exhibited the results of the project.

### **Project 3, 2005–2007**

#### *Mapping of Contaminated Soils and Sediments in the Basin of River Lerma*

Participants of the project: Péter Scharek, project leader (MÁFI), László Korpás (MÁFI), Csaba Centeri and Dániel Kristóf (Szent István University, Gödöllő) from Hungarian part; Gilberto Hernández Silva, project leader (UNAM), Alberto Herrera Muñoz (*Centro Instituto Nacional de Antropología e Historia*, INAH) from Mexican part.

The new approved project can be regarded as the continuation of the subjects of the previous projects. The mutual visits and consultations provided opportunity to elaborate already the next research plan, as well.

Besides the former cooperating partners, Geological Institute of Hungary; Department of Hydrogeology and Department of Geophysics, University of Miskolc; Department of Landscape Ecology, Szent István University

(Gödöllő) contacts took place with the archeologists of Hungarian National Museum with foresight towards a change in subject matter.

Within the framework of the project the lecturers presented the results of the project and discussed the questions of the continuation at 2 conferences in the Hungarian National Museum and Geological Institute of Hungary. The participants decided to launch a joint project based on geological, geophysical and archaeological research. They intended to implement the project with the support of the European Union (Figure 4).



**Figure 4.** Opening the kick off conference of San Joaquin project, Querétaro, October 19, 2006

**4. ábra.** A San Joaquin project indító konferenciája, Querétaro, 2006. október 19.

### **Project 4, 2008–2010**

#### *Presence of Heavy Elements in San Joaquin Area due Pre-Hispanic and Modern Mining Activities and its Impact on the Environment and Public Health*

Participants of the project: Péter Scharek, project leader (MÁFI), Károly Brezsnaynszky (MÁFI), András Bartha (MÁFI), Csaba Centeri (Szent István University, Gödöllő), Dániel Kristóf (Szent István University, Gödöllő), Tamás Madarász (University of Miskolc), Katalin T. Bíró (Hungarian National Museum), Imre Szabó (University of Miskolc), Tibor Tullner (MÁFI) from Hungarian part; Gilberto Hernández Silva, project leader (UNAM), Alberto Herrera Muñoz (*Centro Instituto Nacional de Antropología e Historia*, INAH, Querétaro), Arturo Yamasaki-Cruz (*Universidad Autónoma de Querétaro*) from Mexican part.

The new project is based on a background of participants and institutions wider than ever. Its interdisciplinary character is provided by the involved fields of science (geology, soil science, archaeology, anthropology, health care, environment protection, environmental geology, geochemistry, analytics).

The ongoing project was preceded by careful preparations. Work plan, topographic map of the research area of ca. 70 km<sup>2</sup> as a basis for geoinformatics, preliminary geological map and geochemical sampling plan were made.

It was agreed that out of the six planned heavy mineral components investigations the analysis of Hg will be carried out by the Laboratory of MÁFI respected throughout Europe.

Systematic sampling (soil, fluvial sediments, pre-Hispanic bone as well as recent hair and nail findings) and laboratory analysis of the samples began. The preliminary results were presented twice: in April and October 2009 in the conference “Mercury: Impact on Man and Nature in South of the Sierra Gorda, Querétaro, Mexico” in Querétaro.

The final conference of the project was held in Budapest on September 10, 2010. The organizers caught the opportunity and invited colleagues from both countries to list the results of the geological cooperation between 1995 and 2010. The title of the conference was *Workshop on the Results of the Mexican-Hungarian Cooperation in Earth Sciences, 1995–2010*.

### Summary

The common saying “geology knows no borders” is eloquently proved by the effective professional cooperation in the field of geology that has been lasting for more than 15 years between UNAM and MÁFI — two institutions operating in two far-away countries, two far-away continents. During years, the projects starting from the special field of environmental geology and soil science have been placed on a wider professional base involving areas of partner sciences (engineering geology, natural hazards, archaeology, anthropology, environment protection, geochemistry, analytics) and their scope has been increased taking into account either the studied areas or the range of collaborating institutions. The results of the common work will be more and more known by the international professional circles through lectures in national and international scientific conferences (24 official events, near 70 presentations) as well as professional publications.

### Appendix

#### *Workshops and conferences of the project*

- 1996: Mexico City: UNAM Instituto de Geología  
 1997: Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), León: Instituto Municipal de Planificación  
 1999: Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Querétaro: UNAM Campus Juriquilla, Celaya: Casa del Municipio, Gödöllő: St. Stephan University  
 2000: Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Toluca: UAEM Semana científica México-Hungría, Mexico City: Congreso Nacional por la Prevención de Desastres, Miskolc: University of Miskolc, Budapest: National Directorate for Disaster Management, Texcoco: Congreso Universitario Internacional de Edafología  
 2001: Pachuca: Petrological course in the University (UAEH)

- 2003: Havana, Cuba: Caribbean Geological Congress; Jalpan de Serra (Mexico): Sierra Gorda, 1st scientific meeting  
 2005: Budapest: Hungarian National Museum, Budapest: Geological Institute of Hungary  
 2006: Querétaro: Centro de Geociencias/San Joaquín project  
 2007: Karcag: Agro-Scientific Centre of Debrecen University  
 2008: Budapest: Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing, Miskolc: University of Miskolc  
 2009: Querétaro: Centro de Geociencias/San Joaquín project  
 2010: Budapest: Geological Institute of Hungary

#### *Publications realised during the project*

- BARTHA, A., BALLÓK, M., BERTALAN, É., SCHAREK, P. 2009: Analytical methods of the determination of total Hg and toxic metal contents and their application on samples of San Joaquín's region. — In: HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.) 2009: Mercurio: Impacto en El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro, Mexico, pp. 34–40.  
 CENTERI, C., BARCZI, A., PATAKI, R. 2000: GIS applied in desertification and soil erosion assessment. — Congreso Internacional de Edafología, Colegio de Posgraduados, Montecillos, Edo. de México; 16–20 de octubre del 2000, pp. 636–640.  
 HERNÁNDEZ-SILVA, G., SOLORIO M. G., VASSALLO M. L., FLORES, D. L., MAPLES V. M., HERNÁNDEZ S. D., ALCALÁ M. R. 2000: Dispersión de Ni y Cr en sedimentos y suelos superficiales derivados de serpentinas y basaltos de la cuenca San Juan de Otates, Edo de Guanajuato, México. — *Revista de Ciencias Geológicas* 17, pp. 127–137.  
 HERNÁNDEZ-SILVA, G., SCHAREK P., BREZSNYÁNSZKY K., KISS G. 2000: A króm és nikkkel szennyeződés eloszlása és viselkedése a Río Turbio medencéjének (Guanajuato állam, Mexikó) felszíni negyedidőszaki képződményeiben. — *Földtani Közlemény* 130 (3), pp. 529–545.  
 HERNÁNDEZ-SILVA, G., SCHAREK, P. 2003: Environmental geological mapping of some heavy metals content in soils and sediments in two hydrological sub-basins in Mexico. — *Proceedings GeoMin 2003, La Habana, Cuba TGMMA09*  
 HERNÁNDEZ-SILVA, G., SOLORIO, M. G., MAPLES, V. M., SCHAREK, P. 2000: Uso de un SIG para determinar la dispersión de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en sedimentos y suelos superficiales de tres subcuencas del río Lerma, México. — *Congreso Internacional de Edafología, Colegio de Posgraduados, Montecillos, Edo. de México; 16–20 de octubre del 2000*, pp. 658–666,  
 HERNÁNDEZ-SILVA, G., SCHAREK, P., BARTHA, A., SOLORIO-MUNGUÍA, G., VASSALLO-MORALES, L., LUGO-DE LA FUENTE, J., TULLNER, T., CENTERI, C., MARTINEZ-REYES, J. 2009: Contenido de mercurio total en suelos, sedimentos y terreros al Sur de la Sierra Gorda de Qro. — In: HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.) 2009: *Mercurio: Impacto en El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro, Mexico*, pp. 41–48.  
 KÖRÖSI, L., 2004: Modelos geológicos de sistemas paleocársticos. Teoría y su posible aplicación en la Sierra Gorda, México. — Memoria, Primer Encuentro de Investigación sobre la Sierra Gorda, San Juan de los Durán, Municipio de Jalpan deSerra, Queretaro, pp. 162–171.  
 LUGO DE LA FUENTE, J., HERNÁNDEZ-SILVA, G. 2000: Heavy metal concentration in the sediments of Upper Lerma Basin, Mexico. Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope. — MUNAWAR, M. (ed.): *Ecovision World Monograph Series*. pp 15–27.

- SCHAREK, P. 2000: GIS application in research of geological natural hazards. — *Congreso Internacional de Edafología, Colegio de Posgraduados, Montecillos Edo. de México; 16–20 de octubre del 2000*, pp. 641–646.
- SCHAREK, P. 2004: Métodos de investigaciones geológico-ambientales y de riesgos geológicos, con su aplicabilidad en la Sierra Gorda — Memoria, Primer Encuentro de Investigación sobre la Sierra Gorda, Jalpan de Serra, Querétaro, Mexico, pp. 233–240.
- SCHAREK, P., HERNÁNDEZ-SILVA, G., SOLORIO-MUNGUÍA, S., VASSALLO-MORALES, L., BARTHA, A., SOLIS-VALDEZ, S., TULLNER, T. 2010: Total Mercury Content in Soils, Sediments and Tailings in San Joaquin, Querétaro, Mexico. — in press
- TULLNER, T., HORVÁTH, I., KÓKAI, A. 2000: Database concept for facility of low and medium level radioactive wastes. — *Congreso Internacional de Edafología, Colegio de Posgraduados, Montecillos, Edo. de México; 16–20 de Octubre de 2000*, pp. 647–652.

## Total mercury content in soils, sediments and tailings in San Joaquin, Querétaro, Mexico

*Talajok, üledékek, és meddőhányók összes higanytartalma  
San Joaquin (Querétaro, Mexikó) térségében*

PÉTER SCHAREK<sup>1</sup>, GILBERTO HERNÁNDEZ-SILVA<sup>2</sup>, GREGORIO SOLORIO-MUNGUÍA<sup>2</sup>, LUIS VASSALLO-MORALES<sup>2</sup>,  
ANDRÁS BARTHA<sup>1</sup>, SARA SOLÍS-VALDEZ<sup>2</sup>, TIBOR TULLNER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geological Institute of Hungary

<sup>2</sup>Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Qro. México  
e-mail: scharek@mafi.hu

Keywords: Mexico, mercury, mining, soil, archaeological site

### Abstract

The Geological Institute of Hungary (MÁFI) and the Mexican UNAM Centro de Geociencias (CeGEO-UNAM) (Juriquilla, Querétaro) initiated a joint investigation in 2006 in the frame of a Mexican–Hungarian bilateral intergovernmental treaty entitled “Presence of heavy elements in San Joaquin area due pre Hispanic and modern mining activities and its impact in the environment and public health”. According to the work-plan, the Hungarian part contributed to the geological tasks of the project and the Chemical Laboratory of the MÁFI was expected to perform the necessary heavy metal analyses. The Mexican part took charge of field sampling, partly with Hungarian contribution, and they were to perform pedological analyses. During the field sampling started in 2006, 103 soil, sediment and mine waste samples were taken. A map of dispersion of the Hg in soils, sediments and tailings is presented as the result of this work. Obviously, the highest concentrations of mercury were in the vicinity of the tailings. The study has revealed details on the total Hg content of the different geological formations and the vicinities of historical and modern mining places.

Tárgyszavak: Mexikó, higany, bányászat, talaj, régészeti hely

### Kivonat

A Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) és a mexikói UNAM Centro de Geociencias (CeGEO-UNAM) (Juriquilla, Querétaro) 2006-ban közös kutatást indított a mexikói-magyar kormányközi egyezmény keretében „Prehiszán és modern bányászati tevékenységből származó nehézfémek megjelenése San Joaquin területén és hatásuk a környezetre és a közegészségügyre” címmel. A munkaterv alapján a magyar fél részt vett a projekt földtani feladataiban és a MÁFI Kémiai Laboratóriuma volt kijelölve a szükséges nehézfém-vizsgálatok elvégzésére. A mexikói partner végezte a terepi mintázást, részben magyar részvétellel, és ők végezték a talajtani vizsgálatokat. A 2006-ban kezdődött terepi mintázás során 103 talaj, üledék és bányászati meddő minta begyűjtésével. A talajok, üledékek és a meddőhányók higanyeloszlás-térképét, mint a munka eredményét mutatjuk be. Nyilvánvalóan, a legmagasabb higany koncentrációk a meddőhányók környezetében voltak. A vizsgálat adatokat szolgáltatott a különböző földtani képződmények és a történelmi és modern bányahelyek környezete higanytartalmáról.

### Introduction

The western North American Cordillera hosts a large number of ore deposits of gold-bearing quartz veins, silver-bearing quartz veins and Zn-Cu-Pb-Ag skarns systems from the silver belt of central Mexico, Mother Lode of southern California, through counterparts in

British Columbia and south-eastern Alaska, to the Klondike district in central Yukon. These veins and skarns systems are structurally controlled by major fault zones or weakness zones, which are often reactivated terrane-bounding sutures that formed in orogens built during accretion and subduction of terranes along the continental margin of North America.



## Laboratory test

### Instrumentation

#### AMA 254 Advanced Mercury Analyzer

The Hg content was analyzed by a direct AAS mercury analyzer (AMA 254 Advanced Mercury Analyzer).

The instrument's operating parameters are as follows:

Arrangement: single beam, serial arrangement of cuvettes  
 Light source: low pressure mercury lamp  
 Wavelength: 253.65 nm  
 Interference filter: 254 nm, half-width 9 nm  
 Detector: silicon UV diode  
 Detection limit: 0.01 ng Hg, in the case of 0.100 g sample: 0.1 ppb  
 Working ranges: automatic switching at switching point A=0.8  
 1<sup>st</sup> range: 0.05–50 ng Hg  
 2<sup>nd</sup> range: 50–600 ng Hg  
 Reproducibility: <1.5%  
 Typical analysis time: 5 minutes  
 Sample treatment: programmable  
 Drying period: 9–999 s  
 Decomposition period: 1–999 s  
 Calibration: solution, reference material  
 Number of standards: unlimited  
 Sample characteristics: solid material, solution  
 Dosing volume:  
 External sampling, max: 500 µl, 1000 µl (sample boat number2)  
 Internal sampling: depended on sampling device  
 Weight of sample, max.: 300 mg, 700 mg (sample boat number2)  
 Possibility of preconcentration: max. 10 times  
 Carrier gas: oxygen  
 Inlet pressure: 200–250 kpa  
 Flow rate: 200 ml/min

Table 1 shows the detection limit and expected uncertainty of the mercury content by solid sampling direct AAS method technique using the sample quantity of 0.1 g.

**Table 1.** The detection limit and expected uncertainty of the mercury content by solid sampling direct AAS method technique using the sample quantity of 0.1 g

**I. táblázat.** A higany tartalom kimutatási határa és várható bizonytalansága AAS vizsgálati módszernél, 0,1 g szilárd minta esetén

Element	Analytical Wavelength nm	Detection limit mg/kg	RSD mg/kg				
			±20	±5	±2		
Hg	253.650	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.005	>0.005

### Reagents, standards

Stock solution of mercury was a mono-elemental solution from BDH, Spectrosol grade. Calibration standard solutions were made by stepwise dilution of this stock solution. Final acid concentration was 10 ml/l sulphuric acid. (Merck, "Suprapur"). The concentrations of calibration solutions in dosing 100 ml are as follows: 5, 10, 20, 50, 100, 200 and 500 ng/100 ml solutions (BARTHA et al. 2002; BARTHA et al. 2009).

The next stream sediment samples (SRMs) were used for checking the solution calibration of the AMA 254 mercury analyzer: MOSTAR Hungarian stream sediment standard (recommended value: 0.2245 ppm), Slovakian reference material (ISE 982) (recommended value: 0.020 ppm) and WEPAL monitor sample: (ISE 921) (recommended value: 1.210 ppm). For mercury analysis more than 98% recovery was reached.

## Data base

The data base includes a set of 103 sampling sites all of which are georeferenced in UTM (Universal Transverse Mercator) projection and altitude in metres. In each site the following field variables were recorded: a) rock type, b) landform, c) slope, d) vegetation, e) land use, f) soil, g) soil depth, i) material type, j) gradient, k) mine type. The laboratory results recorded are: pH (H<sub>2</sub>O), organic matter content, interchange capacity, and texture (percentage of clay, lime and sand), and finally, total mercury content in soils, sediments and tailings.

## Map processing

Map processing was made by MicroStation 95 SE used in the Geological Institute of Hungary. Polygons were compiled by the software family MGE of Intergraph Co. The maps were converted into ArcView 3.2 shapes for publication.

### Topographic map

In line with the selected scale the 1:50 000 digital topographic map compiled by the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) was put at our disposal. The map of the exploration area was clipped of it and was slightly modified according to the paper prints used during the field sampling.

### Map of the total Hg-content

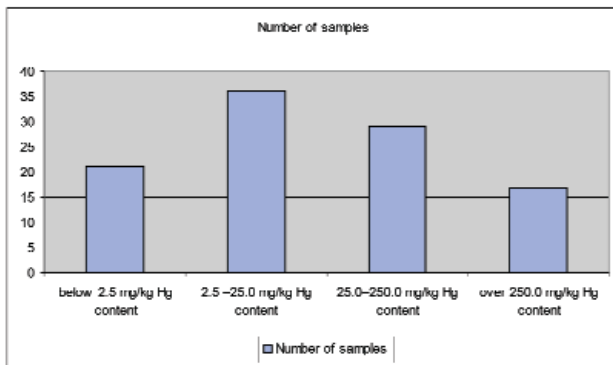
The layout map of the sampling points was processed on the basis of field GPS measurements and coordinate readings of maps with the results of laboratory testing illustrated thereon. Examining the map it became obvious that the distribution of the total Hg-content varied largely in the vicinity of modern and pre-Hispanic mines and certain archaeological sites. Consequently, the preliminary 1:100 000-scale distribution map compiled by the contour line processing Surfer 8.0 software turned out to be much too sophisticated and difficult to interpret in geological terms.

Finally, the boundaries of the specific domains used in geological mapping and interpretation were drawn manually. Apart from the results of measurements, the

topographic map and the geological setting were also considered. The resulting paper map was digitized and processed in GIS.

## Results and discussion

On the basis of the performed analyses, the main statistical parameters of total Hg content of the samples of soils, sediments and tailings are presented below (Figure 2):



**Figure 2.** The distribution of the number of samples per domains  
*2. ábra.* A mintaszámok eloszlása csoportonként

Number of samples: 103, minimum: 0.21mg/kg, maximum: 4164 mg/kg, medium: 181.83 mg/kg of total Hg content.

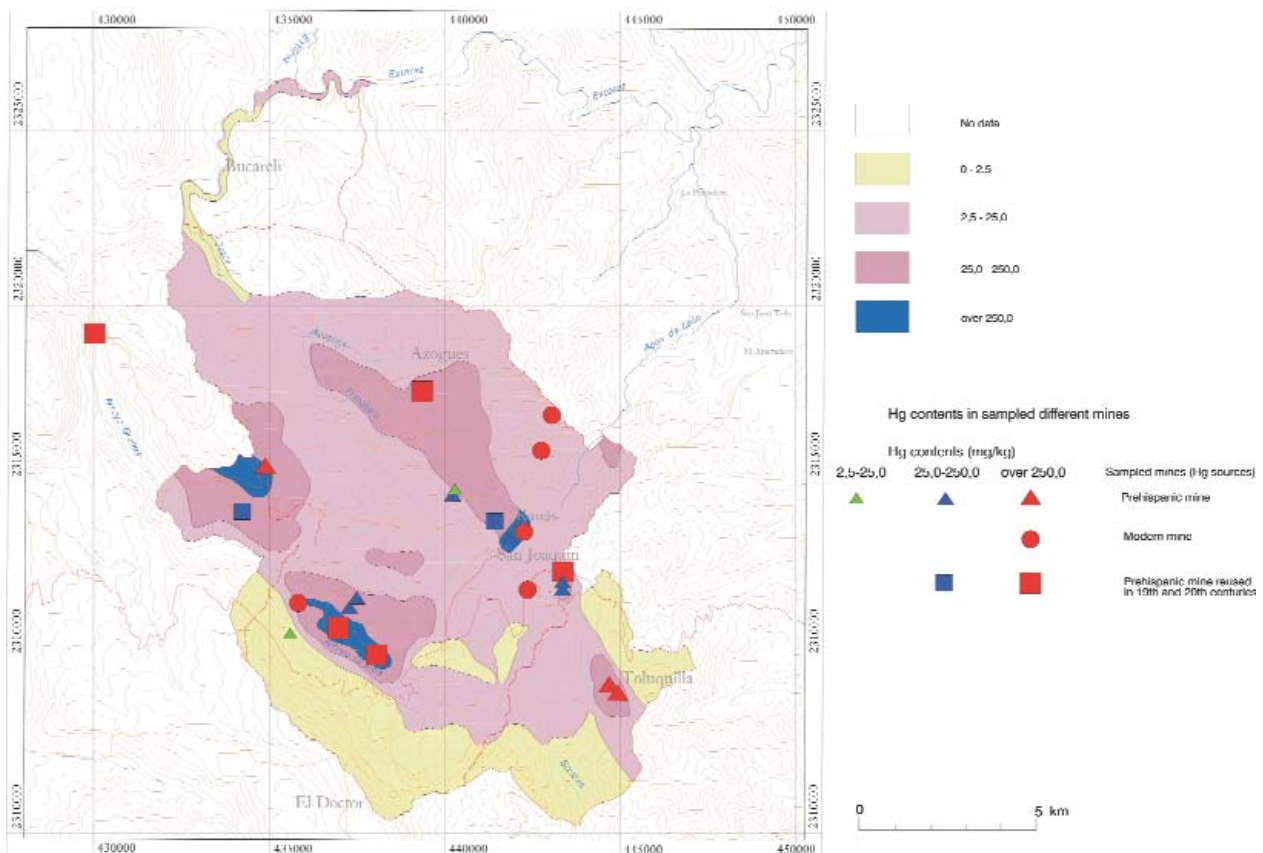
As a result of the correlation of the samples with specific geological formations it was concluded that the samples taken in the vicinity of the mines fell invariably in the highest domain, whereas the Hg-content of the sequences more distant from the mines could be assigned to the domain between 2.5 and 25.0 mg/kg showing the background value of the territory. The Hg-content of the soil samples overlying the Soyatal Formation remains commonly under 2.5mg/kg similarly to the sediments of the river Gatos upstream of Bucareli.

The transitional domain between 25.0 and 250.0mg/kg of Hg-content appears commonly in the sequences covering the formations Las Trancas and Tamaulipas. It occurs typically along some ridges in zones affected by hydro-thermal processes.

Figure 3 shows the distribution of the total Hg content by domains on the map compared with the historical and modern mining sites.

## Conclusions

The total Hg content map shows the present-day dispersion in soils, sediments and tailings and establishes the areas with the greatest contamination: the Calabacillas area, the



**Figure 3.** Total mercury dispersion in soils, sediments and tailings in the studied zone.

*3. ábra.* Az összes higany tartalom eloszlása talajokban, üledékekben és meddőhányókban a vizsgált zónában



Arroyo Grande micro basin and around the Ranas archaeological site (greater than 250mg/kg of total Hg). Obviously, the highest total Hg content was found in materials connected with the mining activities. They are related to pre-Hispanic and present mines which were reused during the last century (intense and long period of exploitation). On the other hand, the Toluquilla area is related to less amount of Hg mining that was characteristic for the pre-Hispanic mines. This area has a medium level of Hg around the archaeological site. The high mercury content in soils and sediments in the surroundings of Ranas and the medium level of Hg content in the Toluquilla site, suggest continuous mercury accumulation in the landscape during more than two thousand years.

### Acknowledgement

The bilateral scientific relation was supported from the Hungarian side by the National Office for Research and Technology and from the Mexican party by Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) and Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) in the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (N° INI-116806 and N° 22-IN114910). We have received administrative and technical support of the TÉT Foundation (Budapest) without which the work could not have been performed.

### References — Irodalom

- BARTHA, A., BALLÓK, M., BERTALAN, É., SCHAREK, P. 2009: Analytical Methods of the Determination of Total Hg and Toxic Metal Contents and Their Application on Samples of San Joaquin's Region. — In: HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.) 2009: Mercurio: Impacto en El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México, UNAM Centro de Geociencias, Juriquilla, pp. 34–40
- BARTHA, A., VARGA-BARNA, ZS. 2002: FOREGS Geochemical Baseline Programme: Mercury determination from solid samples. — Manuscript, Report for the FOREGS Geochemical Baseline Programme
- CARRILLO-MARTÍNEZ, M. 2000: Carta Geológica Zimapán, 1:100,000, UNAM, Instituto de Geología, Ciudad de México.
- HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.) 2009a: Mercurio: Impacto en El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México. — UNAM Centro de Geociencias, Juriquilla, 126 p.
- HERNÁNDEZ-SILVA, G., SCHAREK, P., BARTHA, A., SOLORIO-MUNGUÍA, G., VASSALLO-MORALES, L. F., LUGO-DE LA FUENTE, J., TULLNER, T., CENTERI, CS., MARTINEZ-REYES, J. 2009b: Contenido de mercurio total en suelos, sedimentos y terreros al Sur de la Sierra Gorda de Qro. — In: HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.) 2009: Mercurio: Impacto en El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México. UNAM Centro de Geociencias, Juriquilla, pp. 41–48
- MARTINEZ-REYES, J., MITRE-SALAZAR, L. M., HERNÁNDEZ-SILVA, G., HINOJO-ALONSO, N. A. 2009: La mineralización de mercurio (Hg) en la Sierra Gorda, Región San Joaquin, Qro. México. Marco geológico. — In: HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.): Mercurio: Impacto en El Hombre y la Naturaleza al Sur de la Sierra Gorda de Querétaro, México. UNAM Centro de Geociencias, Juriquilla, pp. 5–15
- MASON, R. P., FITZGERALD, W. F., MOREL, F. M. M. 1994: The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic cycling of elemental mercury: Anthropogenic influences. — *Geochimica and Cosmochimica Acta* 58, pp. 3191–3198.
- PARSON, M. B., PERCIVAL, J. B. 2005: A brief history of mercury and its environmental impact. — In: PARSON, M. B., PERCIVAL, J. B. (eds): Mercury, sources, measurements, cycles, and effects. — Association of Canada; Short Course Series 34, pp. 1–20.
- SCHWESING, D., ILGEN, G., MATZNER, E. 1999: Mercury and methylmercury in upland and wetland acid forest soils of a watershed in NE Bavaria, Germany. — *Water, Air and Soil Pollution* 113, pp. 141–154.
- SUTER, M. 1990: Geología de la hoja Tamazunchale, Estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí. — UNAM Instituto de Geología, Ciudad de México.
- VASSALLO-MORALES, L. F., STAROSTIN, V. I., SHATAGIN, N. N. 2000: Osnovnye cherty metallogeni Meksi (Fundamental Characteristics of the Metallogeny of the Central Part of Mexico). — *Izvestiya sekcii nauk o zemle, (RAEN) Rossiiskoi Akademii Estestvennih Nauk (Journal Izvestiya, Earth Sciences Section, Russian Academy of Natural Sciences)* 5, pp. 33–44.

## Soil erosion modelling in a Hungarian–Mexican context

### *Talajerosió modellezése hazai és mexikói területeken*

Csaba Centeri<sup>1</sup>, Gilberto Hernández Silva<sup>2</sup>, Gergely Jakab<sup>3</sup>, Géza Gelencsér<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Szent István University, Gödöllő, Inst. of Environmental and Landscape Management, Dept. of Nature Conservation and Landscape Ecology, 2103 Gödöllő, Páter K. utca 1., Hungary

<sup>2</sup>Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Qro. Mexico

<sup>3</sup>Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Hungary

<sup>4</sup>Vox Vallis Development Association, Hungary  
e-mail: Centeri.Csaba@kti.szie.hu

Keywords: soil loss, soil erosion, soil erosion modelling, WEPP, USLE

#### Abstract

Soil water erosion is a well known phenomenon. We know enough to protect our valuable soils against many forms of soil degradation but there is always new ways of searching for more exact descriptions of processes causing soil and nutrient losses. In the present paper authors have chosen Hungarian and Mexican research sites to investigate the results of using the WEPP and the USLE models for soil loss calculations. In international literature, USLE is widely cited as a model overestimating soil loss. In the examined Hungarian and Mexican slopes we can state that each model performed with various results. There were cases where WEPP calculated no soil loss where USLE did but there were cases where WEPP calculated more soil loss than USLE. The importance of such soil loss modelling is that each model running has something to explain, teaching us how to improve our models. On the other hand, using more than one model highlight the importance of the lack of information for model inputs. These modelling can improve our knowledge on soil loss calculation and thus the used models, too.

Kulcsszavak: talajveszteség, talajerosió, talajerosió modellezés, WEPP, USLE

#### Kivonat

A talajerosió jól ismert jelenség. Eleget tudunk róla, hogy megvédjük értékes talajainkat a talajdegradáció sokféle formájától, de mindig van olyan új kutatási terület, amely segít a talaj és tápanyagveszteség folyamatainak pontosabb leírásában. A jelenlegi munkában a szerzők hazai és mexikói mintaterületeken értékeli a WEPP és az USLE modell használatának eredményeit. A nemzetközi szakirodalomban az USLE modellt gyakran vádolják a talajveszteség túlbecslésével, ugyanakkor a vizsgált magyar és mexikói területeken azt állapítottuk meg, hogy a modellek különböző eredményekkel szolgáltak. Volt olyan eset, amikor a WEPP modell nem számolt talajveszteséggel, míg az USLE igen, de volt olyan eset is, amikor a WEPP több veszteséggel kalkulált, mint az USLE. Az ilyen modellezések fontossága abban rejlik, hogy minden modellfuttatás megmagyaráz valamit, segít bennünket a modellek fejlesztésében, javításában. Másrésztől több modellel történő elemzés felhívja a figyelmet a modellek bemeneti paramétereinek adathiányára is. Ezek a modellezések javítják ismereteinket a talajveszteség számításának és a modellek használatának területén is.

#### Introduction

Empirical soil erosion models continue to play an important role in soil conservation planning and environmental evaluations around the world (LIU et al. 2000). Soil erosion is a serious problem on agricultural fields of Hungary and Mexico, too. In the hilly areas

precipitation is between 600 and 800mm/year. Even the relatively low intensity rainfalls are causing gullyng and rills. The crop rotation structure does not favour soil protection, contains a high percentage of medium or low soil protection crop (CENTERI 2002, SZILASSI et al. 2006). Soil and nutrient loss, runoff and sediment yield calculations (JAKAB, SZALAI 2005), model comparisons (CENTERI et al.

2009) are important in protecting our (still) valuable arable lands.

In Mexico, erosion reaches a much higher extent since climate and topography are affecting it much more. Various soil erosion models were used to evaluate the rate of soil loss. EUROSEM model was evaluated in Costa Rica, Nicaragua and Mexico (VEIHE et al. 2001). COTLER, ORTEGA-LARROCEA (2006) examined the effects of land use on soil erosion in a Mexican dry forest ecosystem. Eurosem model has been used in Hungary as well (BARTA et al. 2004).

LAROSE et al. (2004) used the WEPP model in the Tuxtlas, Veracruz, Mexico and found that soil erodibility parameters, effective hydraulic conductivity, crop and management parameters have to be studied and modified because the model is very sensitive for these parameters.

Examination of soil parameters are essential to educate farmers for better management practices in order to save nutrients, soils, money, time and to protect the environment (JORDAN et al. 2005). Soil and nutrient loss are calculated in erosion models all over the world (GOURNELLOS et al. 2004), especially in connection with arable cultivation.

## Material and methods

### Description of the Mexican sites

The Sierra Gorda is part of the geological province of the Sierra Madre Oriental, composed of numerous marine Mesozoic formations deformed and folded during the Laramian orogeny. The Mesozoic rocks are almost 100% outcrops in the area. The erosion of these rocks has been shaped the region with physiographic and the morphological features that characterize it, and it is marked by the stark contrast between high peaks whose summits exceed the 3,000m of altitude and deep depressions where the main stream are at an altitude of 900m. In the region there is an array of Mesozoic marine formations, of Jurassic and Cretaceous types, as well as Cenozoic formations of the continental origin. In the Mesozoic marine formations outcrop both Jurassic and Cretaceous in the area and in the same manner, Cenozoic formations of continental origin. The former are by far the most abundant and they account for almost all of the outcrops. The stratigraphic relationship between both constitutes a significant angular discordance. The Mesozoic rocks form the structural framework of the Sierra Gorda. They represent very large, powerful and thick formations that extend for hundreds of kilometres with a SE–NW orientation. The most important tectonic structures in the Sierra Gorda in general and the San Joaquin in particular, are large anticlinal and synclinal folds at regional scales that have a general NW–SE orientation. Chromic Luvisols, Chromic Cambisols and Leptosols are the dominant soils in this rugged area. There exist a variety of climates: from wet-temperate (2000 to 3000m); semi-dry (1500 to 2000m) and sub-tropical (900 to 1500m). The particular area under study has a yearly rain average of

700mm. The natural vegetation embraces: temperate forest (pine, cedar, oak), dry-bush and sub-tropical bush. Crops/fruits: maize, bean, apple tree, peach tree, avocado, mango. Situation of the examined sites are on Figure 1, Table 1.

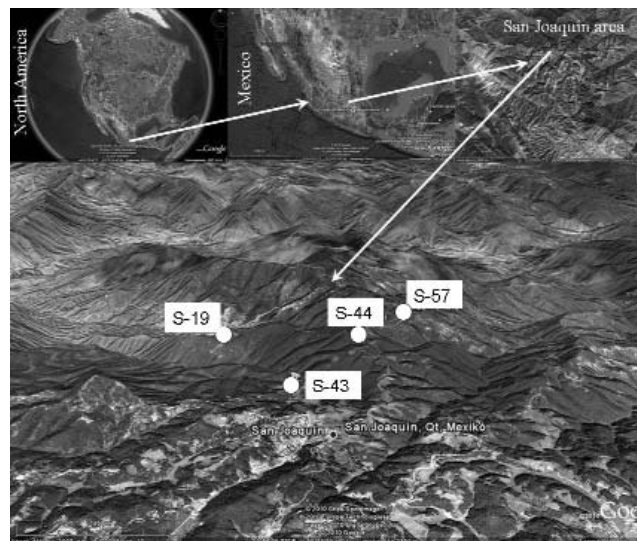


Figure 1. Situation of the Mexican sites on Google Earth Map

1. ábra. A mexikói mintaterületek elhelyezkedése a Google Earth térképen

Table 1. Basic geographical parameters of the examined Mexican sites

1. táblázat. A mexikói területek alapvető földrajzi jellemzői

Sites	Coordinates		Altitude (m)	Slope length	Slope angle (%)	Land Use
	X	Y				
S 19	20° 57' 27.2"	99° 35' 1.6"	1536	200	15	TANI <sup>1</sup>
S 43	20° 55' 25.9"	99° 34' 4.6"	2552	150	<20	TANI+Orch <sup>1</sup>
S 44	20° 56' 17.4"	99° 33' 32.4"	2441	100	<20	Forest (oak)
S 57	20° 56' 58.6"	99° 33' 0.6"	1965	150	10	TANI <sup>2</sup>

1 = Chromic Cambisol (FAO, 2006), 2 = Chromic Luvisol, 3 = Temporal agriculture (no irrigation), 4 = Temporal agriculture (no irrigation) & apple tree orchard.

Particle size analyses followed the method of BOUYOUCUS (1936). Soil organic matter was measured by the method of WALKLEY (1947) (Table 2 and 3).

The average yearly precipitation in the region is 700 mm.

Table 2. Basic soil parameters for erosion modelling on the Mexican sites

2. táblázat. Alapvető talajtani paraméterek a mexikói területek eróziós modellezéséhez

Sites	Soil type	Sand	Silt	Clay	SOM	CTC
		(% )			mgeq/100g	
S 19	CMcr <sup>1</sup>	36	32	32	2.81	17.48
S-43	LVcr <sup>2</sup>	49	33	18	9.08	25.53
S 44	LVcr <sup>2</sup>	48	22	30	<6.5	34.50
S 57	CMcr <sup>1</sup>	8	44	43	ND	32.30

1 = Chromic Cambisol (FAO, 2006), 2 = Chromic Luvisol.

**Table 3.** Input parameters for modeling with WEPP model on the Mexican sites

3. táblázat. Bemeneti paraméterek a WEPP modell használatához a mexikói területeken

Input parameters	S-19	S-43	S-44	S-57
Age of surface cover (yrs)		5	20	
Type of surface cover	grassy	woody	woody	grassy
Rainfall amount (mm)	90	90	90	90
Rainfall duration (min)	120	120	120	120
Max. intensity (mm/min)	80	80	80	80
Normalized time to peak	0.8'	0.8'	0.8'	0.8'
Plane length (m)	200	150	100	100
Initial saturation (%)	50	50	50	50
Canopy cover (%)	50	50	90	50
Surface cover (%)	50	20	99.9	
Skeleton content (%)	20	20	20	

\*at 96. min.

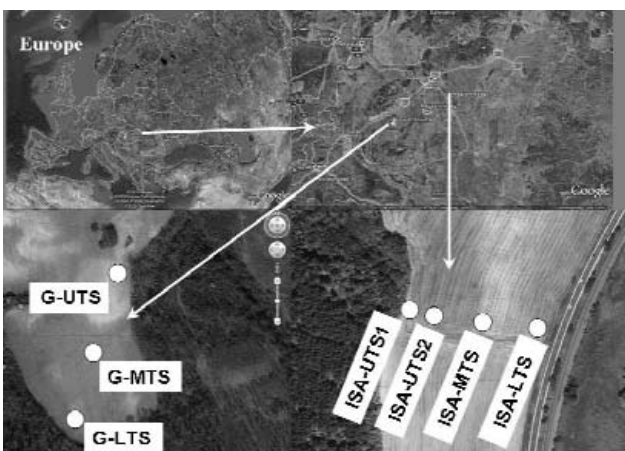
### Description of the Hungarian sites

#### The Gerézdpuszta area

Gerézdpuszta belongs to the Külső-Somogy hilly area, south of the World famous Balaton Lake. The hilly landscape was formed by the tectonic movements and loess formation. On the clay and sand sediment of the Pannonian Sea there were 50–100m fluvial sediment settled. Valley density reaches 8–10 per square km, plateaus between the valley are only 100–200m wide.

Koppány Creek played an important role in soil formation. In the valley we find fluvial meadow soils. Parent material is glacial and fluvial sediment. Soil texture is mainly loamy with illite and smectite clay minerals. Hydrological properties are good, soil organic carbon content used to be 100–200t/ha with 100cm soil depth but it has undergone severe erosion (see the Gerézdpuszta site on Figure 2), soil organic content reduced dramatically. These soil characteristics are partly identical to the brown forest soils situated on the hillsides.

Climatic conditions are changing; originally continental and Sub-Mediterranean climate was mixed; now we find it less continental and more Mediterranean. The average yearly precipitation is approximately 640mm. There are cold spots where temperature often falls 30 °C below zero and maximum is above 35 °C.



**Figure 2.** Situation of the Hungarian sites within Europe  
2. ábra. A magyar területek elhelyezkedése Európában

For soil erosion modelling we need to introduce the most important input parameters for the examined sites.

### Basic geomorphological parameters of the Hungarian sites

In order to find the exact location of the Hungarian sites coordinates and altitude is given in Table 4. Slope length, slope angle and land use are important input parameters for soil erosion modeling, those are given in Table 4, too. Basic soil parameters of the Hungarian sites can be seen in Table 5.

**Table 4.** Basic geographical parameters of the examined Hungarian sites

4. táblázat. A vizsgált hazai területek alapvető földrajzi jellemzői

Sites	Coordinates		Altitude (m)	Slope length (m)	Slope angle (%)	Land Use
	X	Y				
G-UTS	46° 35' 37.43" N	17° 59' 24.43" E	196	120	16.6	arable
G-MTS	46° 35' 33.78" N	17° 59' 23.52" E	180	66	15.1	arable
G-LTS	46° 35' 32.92" N	17° 59' 21.94" E	166	54	18.5	arable
ISA-UTS1	47° 31' 24.67" N	19° 21' 57.81" E	191	31	16.1	arable
ISA-UTS2	47° 31' 25.94" N	19° 21' 01.24" E	187	47	10.6	arable
ISA-MTS	47° 31' 25.96" N	19° 22' 00.39" E	179	18	13.9	arable
ISA-LTS	47° 31' 28.01" N	19° 22' 03.36" E	173	41	6.1	arable

G = Gerézdpuszta, ISA = Isaszeg, UTS = Upper Third of the Slope, MTS = Middle Third of the Slope, LTS = Lower Third of the Slope.

**Table 5.** Basic soil parameters for erosion modeling on the Hungarian sites

5. táblázat. Alapvető talajtani paraméterek a hazai területek eróziós modellezéséhez

Sites	Soil type	Soil type (%)				CEC mgc/100g
		Sand	Silt	Clay	SOM	
G-UTS	Cambisol	54	28	18	0.8	22.0
G-MTS	Regosol	42	33	25	2.3	35.0
G-LTS	Colluvium	25	40	35	2.8	35.0
ISA-UTS1	Regosol	54	34	12	0.5	15.0
ISA-UTS2	Cambisol	48	38	14	0.9	18.0
ISA-MTS	Regosol	45	40	15	1.3	25.0
ISA-LTS	Colluvium	40	42	18	2.2	33.0

G = Gerézdpuszta, ISA = Isaszeg, UTS = Upper Third of the Slope, MTS = Middle Third of the Slope, LTS = Lower Third of the Slope, SOM = Soil Organic Matter, CEC = Cation Exchange Capacity.

WEPP and USLE models were used to predict soil loss and sediment yield (the later is only with the WEPP model) on the examined areas.

### Modelling with WEPP and USLE models on Hungarian and Mexican sites

The well-known USLE (WISCHMEIER, SMITH 1978) and WEPP (FLANAGAN et al. 2007) models were used for the

analyses. The Water Erosion Prediction Project (WEPP) was started in 1985. Its purpose was to develop new-generation water erosion prediction technology, originally (as well as the USLE) for use in the USA. The WEPP model was developed by the USDA-ARS to replace empirically based erosion prediction technologies, such as USLE, RUSLE, MUSLE. The WEPP model simulates many of the formerly missing physical processes important in soil erosion (e.g. infiltration, runoff, raindrop and flow detachment, sediment transport, deposition, plant growth, and residue decomposition) as input parameters. The WEPP project is similar to USLE because it was constructed based on extensive field experimental program (on cropland, rangeland and disturbed forest sites). Sufficient amount of data was needed to parameterize and test the model. The model became functional with the cooperation of research locations, laboratories and universities. The WEPP model can be used on hill slopes and on smaller watersheds. The model can be used with Microsoft Windows operating system graphical interfaces, web-based interfaces, and integration with Geographic Information Systems since 1995. Watershed channel and impoundment components, Cligen weather generator, the daily water balance and evapotranspiration routines, and the prediction of sub-surface lateral flow along low-permeability soil layers was developed and continuously improved (CHAVES, NEARING 1991, RISSE et al. 1994, FLANAGAN et al. 2007, DEER-ASCOUGH et al. 1995, GRISMER 2007, MOFFET et al. 2007, KIM et al. 2007, BONILLA et al. 2007).

WEPP is widely used for soil loss calculations (PANDEY et al. 2008, SHEN et al. 2009, IRVEM et al. 2007, BAIGORRIA, ROMERO 2007).

## Results

### Results of modelling with WEPP model for the Mexican sites

Modelling with WEPP resulted with varying runoff volumes and soil loss amounts. While runoff volumes varied from 10.3 to 55.22mm, soil loss varied from none to 0.234kg/m<sup>2</sup> (Table 6). On site S-44 runoff volume and peak

**Table 6.** Results of soil erosion modeling with the WEPP model on the Mexican sites

**6. táblázat.** A WEPP modellel történő elemzések eredményei a mexikói területeken

Results of using the WEPP model	S 19	S 43	S 44	S 57
Runoff volume (mm)	55.13	10.3	14.48	55.22
Peak runoff rate (mm/hr)	54.98	19.9	33.05	57.76
Effective runoff duration (min)	60.16	31.06	26.3	57.36
Effective length (m)	200	150	100	150
Soil Loss (Avg. of Net Detachment Areas) (kg/m <sup>2</sup> )	0.05	0.127	No	0.234
Maximum Soil Loss (kg/m <sup>2</sup> )	0.05*	0.241**	No	0.835**
Sediment leaving profile for jun/1/1 (kg/m)	9.977	10.31	No	31.156

\*at 100m, \*\*at 150m.

runoff rate were both higher than on site S-43 but there was no soil loss and sediment yield proposed by the model. On site S-19 and S-57 there were almost the same runoff volume and peak runoff rate calculated but the amount of soil loss was 5 times more in site S-57 than on site S-19. Another interesting result was that while on site S-19 both runoff volume and peak runoff rate were 3 to 5 times more than on site S-43, the amount of soil loss was bigger on site S-43, regardless of its shorter slope length.

USLE did not calculate soil loss in that wide range as WEPP did and it had calculated a small amount of soil loss for site S-44 as well, while WEPP had not (Table 7.).

**Table 7.** Results of soil erosion modelling with the USLE model on the Mexican sites

**7. táblázat.** Az USLE modellel történő elemzés eredményei a mexikói területeken

Sample	R	K	LS	C	P	Soil loss (t ha <sup>-1</sup> )	Soil loss (kg m <sup>-2</sup> )
	factor						
S-19	1639	0.022	4.48	0.01	1	1.62	0.162
S-43	1639	0.026	4.94	0.005	1	1.05	0.105
S 44	1639	0.025	4.03	0.005	1	0.83	0.083
S 57	1639	0.028	2.82	0.01	1	1.29	0.129

R = rainfall erosivity, K = soil erodibility, LS = slope length and steepness, C = cover management factor, P = protection measures.

Comparison of soil loss calculations and the differences between them can be seen in Table 8. USLE calculated more soil loss for sites S-19 and S-44 and less for sites S-43 and S-57.

**Table 8.** Comparison of soil loss calculation with USLE and WEPP models for the Mexican sites

**8. táblázat.** Az USLE és a WEPP modellel történő elemzések összehasonlítása a mexikói területeken

	S 19	S 43	S 44	S 57
Results of soil loss calculation with the WEPP model (kg m <sup>-2</sup> )	0.050	0.127	No	0.234
Results of soil loss calculation with the USLE model (kg m <sup>-2</sup> )	0.162	0.105	0.083	0.129
Soil loss of USLE/soil loss of WEPP	3.24	0.82	-	0.55

Results of modeling with WEPP and USLE models for the Hungarian sites

### Results for Gerézdpuszta sites

The results of soil loss calculations for the Gerézdpuszta sites with USLE model can be found in Table 9. Soil loss values decrease dramatically from the upper to the lower slope thirds.

The results of soil loss calculations with WEPP model (GELENCSEER et al. 2010) can be found in Tables 10-12.

**Table 9.** Input parameters and results of the simulation with the USLE model, Gerézdpuszta, Hungary*9. táblázat. Az USLE modell bemeneti paramétereit és az elemzés eredményeit Gerézdpusztán*

Slope section	R*	K	I.	S	Soil loss (kg m <sup>-2</sup> )
	factor				
Upper	0.06934	0.38	1.42	0.85	0.543496
Middle		0.009	1.83	0.57	0.011124
Lower		0.0001	1.31	0.35	0.000054

\*in this special case, since the calculation is for one rainfall event, this is erosivity index, C and P factors = 1.

**Table 10.** Results of the simulation with the WEPP model for the upper slope third, Gerézdpuszta, Hungary*10. táblázat. A WEPP modellel történő elemzések eredményei a lejtő felső harmadán Gerézdpusztán*

PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )
0.44	0.014	9.27	0.016	18.11	0.447	26.94	0.683	35.77	0.864
0.88	0.014	9.72	0.042	18.55	0.461	27.38	0.693	36.21	0.872
1.32	0.014	10.16	0.076	18.99	0.474	27.82	0.703	36.65	0.880
1.77	0.014	10.60	0.111	19.43	0.487	28.26	0.713	37.10	0.888
2.21	0.014	11.04	0.146	19.87	0.500	28.71	0.723	37.54	0.895
2.65	0.014	11.48	0.181	20.31	0.513	29.15	0.733	37.98	0.903
3.09	0.014	11.92	0.217	20.76	0.525	29.59	0.742	38.42	0.910
3.53	0.014	12.37	0.246	21.20	0.538	30.03	0.752	38.86	0.918
3.97	0.014	12.81	0.264	21.64	0.550	30.47	0.761	39.30	0.925
4.42	0.014	13.25	0.281	22.08	0.562	30.91	0.770	39.75	0.933
4.86	0.014	13.69	0.297	22.52	0.574	31.36	0.779	40.19	0.940
5.30	0.014	14.13	0.313	22.96	0.585	31.80	0.788	40.63	0.947
5.74	0.014	14.57	0.329	23.41	0.597	32.24	0.797	41.07	0.954
6.18	0.014	15.02	0.345	23.85	0.608	32.68	0.806	41.51	0.961
6.62	0.014	15.46	0.360	24.29	0.619	33.12	0.814	41.95	0.968
7.07	0.014	15.90	0.375	24.73	0.630	33.56	0.823	42.40	0.975
7.51	0.014	16.34	0.390	25.17	0.641	34.00	0.831	42.84	0.982
7.95	0.014	16.78	0.405	25.61	0.652	34.45	0.840	43.28	0.988
8.39	0.014	17.22	0.419	26.06	0.662	34.89	0.848	43.72	0.995
8.83	0.014	17.66	0.433	26.50	0.673	35.33	0.856	44.16	1.002

PD = Profile distances are from top to bottom of hillslope, SOL = Soil loss.

**Table 11.** Results of the simulation with the WEPP model for the middle slope third, Gerézdpuszta, Hungary*11. táblázat. A WEPP modellel történő elemzések eredményei a lejtő középső harmadán Gerézdpusztán*

PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )
45.74	0.419	77.34	0.520	108.94	0.609	140.53	0.626	172.13	0.696
47.32	0.424	78.92	0.525	110.52	0.608	142.11	0.630	173.71	0.699
48.90	0.430	80.50	0.529	112.10	0.608	143.69	0.633	175.29	0.702
50.48	0.435	82.08	0.534	113.68	0.607	145.27	0.637	176.87	0.706
52.06	0.440	83.66	0.539	115.26	0.606	146.85	0.641	178.45	0.709
53.64	0.445	85.24	0.543	116.84	0.605	148.43	0.644	180.03	0.714
55.22	0.451	86.82	0.548	118.41	0.603	150.01	0.648	181.61	0.736
56.80	0.456	88.40	0.552	119.99	0.602	151.59	0.651	183.19	0.762
58.38	0.461	89.98	0.557	121.57	0.601	153.17	0.655	184.77	0.787
59.96	0.466	91.56	0.561	123.15	0.599	154.75	0.658	186.35	0.813
61.54	0.471	93.14	0.566	124.73	0.598	156.33	0.662	187.93	0.839
63.12	0.476	94.72	0.570	126.31	0.596	157.91	0.665	189.51	0.864
64.70	0.481	96.30	0.575	127.89	0.597	159.49	0.669	191.09	0.890
66.28	0.486	97.88	0.579	129.47	0.600	161.07	0.672	192.67	0.908
67.86	0.491	99.46	0.584	131.05	0.604	162.65	0.675	194.25	0.912
69.44	0.496	101.04	0.588	132.63	0.608	164.23	0.679	195.83	0.916
71.02	0.501	102.62	0.592	134.21	0.611	165.81	0.682	197.41	0.919
72.60	0.506	104.20	0.597	135.79	0.615	167.39	0.686	198.99	0.923
74.18	0.510	105.78	0.601	137.37	0.619	168.97	0.689	200.57	0.926
75.76	0.515	107.36	0.605	138.95	0.622	170.55	0.692	202.15	0.930

PD = Profile distances are from top to bottom of hillslope, SOL = Soil loss.

**Table 12.** Results of the simulation with the WEPP model for the lower slope third, Gerézdpuszta, Hungary

*12. táblázat. A WEPP modellel történő elemzések eredményei a lejtő alsó harmadán Gerézdpusztán*

PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )
202.53	1.191	210.10	1.184	217.67	1.176	225.24	1.169	232.81	1.161
202.90	1.191	210.47	1.183	218.05	1.176	225.62	1.168	233.19	1.161
203.28	1.191	210.85	1.183	218.42	1.175	225.99	1.168	233.56	1.160
203.66	1.190	211.23	1.183	218.80	1.175	226.37	1.168	233.94	1.160
204.04	1.190	211.61	1.182	219.18	1.175	226.75	1.167	234.32	1.160
204.42	1.189	211.99	1.182	219.56	1.174	227.13	1.167	234.70	1.158
204.80	1.189	212.37	1.181	219.94	1.174	227.51	1.166	235.08	1.127
205.18	1.189	212.75	1.181	220.32	1.173	227.89	1.166	235.46	1.083
205.55	1.188	213.12	1.181	220.69	1.173	228.27	1.166	235.84	1.040
205.93	1.188	213.50	1.180	221.07	1.173	228.64	1.165	236.21	0.995
206.31	1.187	213.88	1.180	221.45	1.172	229.02	1.165	236.59	0.951
206.69	1.187	214.26	1.180	221.83	1.172	229.40	1.165	236.97	0.905
207.07	1.187	214.64	1.179	222.21	1.172	229.78	1.164	237.35	0.859
207.45	1.186	215.02	1.179	222.59	1.171	230.16	1.164	237.73	0.812
207.82	1.186	215.40	1.178	222.97	1.171	230.54	1.163	238.11	0.764
208.20	1.186	215.77	1.178	223.34	1.170	230.92	1.163	238.49	0.716
208.58	1.185	216.15	1.178	223.72	1.170	231.29	1.163	238.86	0.667
208.96	1.185	216.53	1.177	224.10	1.170	231.67	1.162	239.24	0.617
209.34	1.184	216.91	1.177	224.48	1.169	232.05	1.162	239.62	0.566
209.72	1.184	217.29	1.176	224.86	1.169	232.43	1.162	240.00	0.514

PD = Profile distances are from top to bottom of hillslope, SOL = Soil loss.

Tables 10–12. show that a not too big rainfall event, arriving on the area with bad timing (no surface cover) can cause 10 t ha<sup>-1</sup> soil loss.

### Results for Isaszeg sites

The results of soil loss calculations for the Isaszeg sites (DEMÉNY et al. 2010) with USLE model can be found in Table. 13.

loss for the upper third No.1. and No 2 while WEPP calculates higher values for the middle slope section. Each model calculates almost no erosion for the lower slope third.

The overall comparison of the Hungarian sites shows that WEPP dramatically overestimate soil loss compared to USLE at the Gerézdpuszta sites and at the middle and lower slope sections of the Isaszeg sites (Table 18).

**Table 13.** Input parameters and results of the simulation with the USLE model, Isaszeg, Hungary

*13. táblázat. Az USLE modell bemeneti paramétereit és az elemzés eredményeit Isaszegen*

Slope section	R*	K	I	S	Soil loss (kg m <sup>-2</sup> )
	factor				
Upper_01	12.12882	0.38	0.52	0.57	0.136609
Upper_02		0.28	1.27	1.33	0.573630
Middle		0.009	1.515	1.95	0.032248
Lower		0.0001	1.41	0.57	0.000097

\*in this special case, since the calculation is for one rainfall event, this is erosivity index, C and P factors = 1.

The results of soil loss calculations with WEPP model can be found in Tables 14–16.

Comparing the results of USLE (Table 13) and WEPP (Tables 14–17) we can state that USLE calculates more soil

USLE calculate less soil loss than WEPP at the upper slope thirds of the Isaszeg sites. Differences are explained by the high clay content and the low infiltration rate of the lower third of the slope at the Gerézdpuszta site.

**Table 14.** Results of the simulation with the WEPP model for the upper slope third No.1., Isaszeg, Hungary*14. táblázat. A WEPP modellel történő elemzések eredményei a lejtő felső harmadán (1) (ISA-UTS1)*

PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )
0.06	0.012	1.39	0.012	2.73	0.012	4.06	0.037	2.60	0.012
0.12	0.012	1.45	0.012	2.79	0.012	4.12	0.039	2.66	0.012
0.18	0.012	1.51	0.012	2.85	0.012	4.18	0.041	3.94	0.033
0.24	0.012	1.57	0.012	2.91	0.012	4.24	0.043	4.00	0.035
0.30	0.012	1.64	0.012	2.97	0.012	4.30	0.045	5.27	0.076
0.36	0.012	1.70	0.012	3.03	0.012	4.36	0.047	5.33	0.078
0.42	0.012	1.76	0.012	3.09	0.012	4.42	0.049	5.39	0.080
0.48	0.012	1.82	0.012	3.15	0.012	4.48	0.051	5.45	0.081
0.55	0.012	1.88	0.012	3.21	0.012	4.54	0.053	5.51	0.083
0.73	0.012	1.94	0.012	3.27	0.012	4.60	0.055	5.57	0.085
0.79	0.012	2.00	0.012	3.33	0.012	4.66	0.057	5.63	0.087
0.85	0.012	2.06	0.012	3.39	0.014	4.72	0.059	5.69	0.089
0.91	0.012	2.12	0.012	3.45	0.016	4.78	0.061	5.75	0.090
0.97	0.012	2.18	0.012	3.51	0.018	4.84	0.063	5.81	0.092
1.03	0.012	2.24	0.012	3.57	0.020	4.91	0.065	5.87	0.094
1.09	0.012	2.30	0.012	3.63	0.023	4.97	0.067	5.94	0.096
1.15	0.012	2.36	0.012	3.69	0.025	5.03	0.069	6.00	0.097
1.21	0.012	2.42	0.012	3.75	0.027	5.09	0.070	6.06	0.099
1.27	0.012	2.48	0.012	3.82	0.029	5.15	0.072		
1.33	0.012	2.54	0.012	3.88	0.031	5.21	0.074		

PD = Profile distances are from top to bottom of hillslope, SOL = Soil loss.

**Table 15.** Results of the simulation with the WEPP model for the upper slope third No.2., Isaszeg, Hungary*15. táblázat. A WEPP modellel történő elemzések eredményei a lejtő felső harmadán (2) (ISA-UTS2)*

PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )
6.42	0.107	13.62	0.201	20.82	0.280	28.02	0.350	35.22	0.283
6.78	0.112	13.98	0.205	21.18	0.284	28.38	0.349	35.58	0.278
7.14	0.117	14.34	0.209	21.54	0.288	28.74	0.346	35.94	0.275
7.50	0.122	14.70	0.213	21.90	0.291	29.10	0.344	36.30	0.277
7.86	0.127	15.06	0.218	22.26	0.295	29.46	0.341	36.66	0.279
8.22	0.132	15.42	0.222	22.62	0.298	29.82	0.339	37.02	0.282
8.58	0.137	15.78	0.226	22.98	0.302	30.18	0.336	37.38	0.284
8.94	0.142	16.14	0.230	23.34	0.306	30.54	0.333	37.74	0.286
9.30	0.147	16.50	0.234	23.70	0.309	30.90	0.330	38.10	0.288
9.66	0.151	16.86	0.238	24.06	0.313	31.26	0.327	38.46	0.291
10.02	0.156	17.22	0.242	24.42	0.316	31.62	0.323	38.82	0.293
10.38	0.161	17.58	0.246	24.78	0.320	31.98	0.320	39.18	0.295
10.74	0.165	17.94	0.250	25.14	0.323	32.34	0.316	39.55	0.297
11.10	0.170	18.30	0.254	25.50	0.326	32.70	0.313	39.91	0.299
11.46	0.174	18.66	0.258	25.86	0.330	33.06	0.309	40.27	0.301
11.82	0.179	19.02	0.261	26.22	0.333	33.42	0.305	40.63	0.304
12.18	0.183	19.38	0.265	26.58	0.337	33.78	0.301	40.99	0.306
12.54	0.188	19.74	0.269	26.94	0.340	34.14	0.297	41.35	0.308
12.90	0.192	20.10	0.273	27.30	0.343	34.50	0.292	41.71	0.310
13.26	0.196	20.46	0.276	27.66	0.347	34.86	0.288	42.07	0.312

PD = Profile distances are from top to bottom of hillslope, SOL = Soil loss.



**Table 16.** Results of the simulation with the WEPP model for the middle slope third, Isaszeg, Hungary*16. táblázat. A WEPP modellel történő elemzések eredményei a lejtő középső harmadán*

PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )
42.57	0.189	52.76	0.177	62.94	0.165	73.12	0.153	83.30	0.198
43.08	0.189	53.26	0.176	63.45	0.165	73.63	0.154	83.81	0.197
43.59	0.188	53.77	0.176	63.95	0.164	74.14	0.158	84.32	0.196
44.10	0.187	54.28	0.175	64.46	0.163	74.64	0.162	84.83	0.195
44.61	0.187	54.79	0.175	64.97	0.163	75.15	0.166	85.33	0.195
45.12	0.186	55.30	0.174	65.48	0.162	75.66	0.170	85.84	0.194
45.63	0.185	55.81	0.173	65.99	0.162	76.17	0.174	86.35	0.193
46.14	0.185	56.32	0.173	66.50	0.161	76.68	0.178	86.86	0.192
46.65	0.184	56.83	0.172	67.01	0.160	77.19	0.181	87.37	0.192
47.16	0.184	57.34	0.172	67.52	0.160	77.70	0.185	87.88	0.191
47.67	0.183	57.85	0.171	68.03	0.159	78.21	0.189	88.39	0.190
48.17	0.182	58.36	0.170	68.54	0.159	78.72	0.193	88.90	0.190
48.68	0.182	58.86	0.170	69.05	0.158	79.23	0.196	89.41	0.189
49.19	0.181	59.37	0.169	69.55	0.157	79.73	0.200	89.92	0.188
49.70	0.181	59.88	0.169	70.06	0.157	80.24	0.202	90.42	0.187
50.21	0.180	60.39	0.168	70.57	0.156	80.75	0.201	90.93	0.187
50.72	0.179	60.90	0.167	71.08	0.156	81.26	0.200	91.44	0.186
51.23	0.179	61.41	0.167	71.59	0.155	81.77	0.200	91.95	0.185
51.74	0.178	61.92	0.166	72.10	0.155	82.28	0.199	92.46	0.185
52.25	0.178	62.43	0.166	72.61	0.154	82.79	0.198	92.97	0.184

PD = Profile distances are from top to bottom of hillslope, SOL = Soil loss.

**Table 17.** Results of the simulation with the WEPP model for the lower slope third, Isaszeg, Hungary*17. táblázat. A WEPP modellel történő elemzések eredményei a lejtő alsó harmadán*

PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )	PD (m)	SOL (kg m <sup>-2</sup> )
42.57	0.189	52.76	0.177	62.94	0.165	73.12	0.153	83.30	0.198
43.08	0.189	53.26	0.176	63.45	0.165	73.63	0.154	83.81	0.197
43.59	0.188	53.77	0.176	63.95	0.164	74.14	0.158	84.32	0.196
44.10	0.187	54.28	0.175	64.46	0.163	74.64	0.162	84.83	0.195
44.61	0.187	54.79	0.175	64.97	0.163	75.15	0.166	85.33	0.195
45.12	0.186	55.30	0.174	65.48	0.162	75.66	0.170	85.84	0.194
45.63	0.185	55.81	0.173	65.99	0.162	76.17	0.174	86.35	0.193
46.14	0.185	56.32	0.173	66.50	0.161	76.68	0.178	86.86	0.192
46.65	0.184	56.83	0.172	67.01	0.160	77.19	0.181	87.37	0.192
47.16	0.184	57.34	0.172	67.52	0.160	77.70	0.185	87.88	0.191
47.67	0.183	57.85	0.171	68.03	0.159	78.21	0.189	88.39	0.190
48.17	0.182	58.36	0.170	68.54	0.159	78.72	0.193	88.90	0.190
48.68	0.182	58.86	0.170	69.05	0.158	79.23	0.196	89.41	0.189
49.19	0.181	59.37	0.169	69.55	0.157	79.73	0.200	89.92	0.188
49.70	0.181	59.88	0.169	70.06	0.157	80.24	0.202	90.42	0.187
50.21	0.180	60.39	0.168	70.57	0.156	80.75	0.201	90.93	0.187
50.72	0.179	60.90	0.167	71.08	0.156	81.26	0.200	91.44	0.186
51.23	0.179	61.41	0.167	71.59	0.155	81.77	0.200	91.95	0.185
51.74	0.178	61.92	0.166	72.10	0.155	82.28	0.199	92.46	0.185
52.25	0.178	62.43	0.166	72.61	0.154	82.79	0.198	92.97	0.184

PD = Profile distances are from top to bottom of hillslope, SOL = Soil loss.

**Table 18.** Comparison of soil loss calculations with the USLE and WEPP models at the Gerézdpusztai and Isaszeg sites, Hungary

**18. táblázat.** Az USLE és a WEPP modellel történő talajvesztés-számítások összehasonlítása a gerézdpusztai és az isaszegi területeken

Slope section	USLE	WEPP	Slope section	USLE	WEPP
	Gerézdpusztai Soil loss (kg m <sup>-2</sup> )			Isaszeg Soil loss (kg m <sup>-2</sup> )	
Upper	0.543496	1.002	Upper 01	0.136609	0.099
			Upper 02	0.573630	0.312
Middle	0.011124	0.930	Middle	0.032248	0.184
Lower	0.000054	0.514	Lower	0.000097	0.014

## Conclusions

The empirical USLE model is known to generally overestimate soil loss in many parts of the world. In the presently tested cases on Mexican and Hungarian sites we can state that overestimation of USLE is not the only case and WEPP model tends to overestimate soil loss, too. In case of the Gerézdpusztai site the reason of overestimation at the third of the slope was found to be in the higher clay content of this slope portion but it is not always easy to find any obvious reason for differences in model outputs. Further and detailed comparisons of model behaviour (e.g. CENTERI et al. 2009) in different climatic conditions are important to provide more details and data for model users and decision makers, too.

## References — Irodalom

- BAIGORRIA G. A., ROMERO, C. C. 2007: Assessment of erosion hotspots in a watershed: integrating the WEPP model and GIS in a case study in the Peruvian Andes. — *Environmental Modelling Software* 22 (8), pp. 1175–1183.
- BARTA K., JAKAB G., BÍRÓ Zs., CSÁSZÁR A. 2004: A EUROSEM modell által becsült lefolyási és talajvesztési értékek összehasonlítása terepi mért értékekkel. II. — Magyar Földrajzi Konferencia kiadványa, Szeged (CD)
- BONILLA, C. A., NORMAN, J. A., MOLLING, C. C. 2007: Water erosion estimation in topographically complex landscapes: Model description and first verifications. — *Soil Science Society of America Journal* 71 (5), pp. 1524–1537.
- BOUYOUCUS, G. J. 1936: Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. — *Soil Science* 42, 225–228.
- CENTERI, Cs. 2002: The role of vegetation cover in soil erosion on the Tihany Peninsula. — *Acta Botanica Hungarica* 44 (3–4), pp. 285–295.
- CENTERI, Cs., BARTA, K., JAKAB, G., SZALAI, Z., BÍRÓ, Z. 2009: Comparison of EUROSEM, WEPP and MEDRUSH model calculations with measured runoff and soil loss data from rainfall simulations in Hungary. — *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172 (6), pp. 789–797.
- CHAVES, H. M. L., NEARING, M. A. 1991: Uncertainty analysis of the WEPP soil erosion model. — *Transactions of the ASAE* 34, pp. 2437–2444.
- COTLER, H., ORTEGA-LARROCEA, M. P. 2006: Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. — *Catena* 65 (2), pp. 107–117.
- DEER-ASCOUGH, L. A., WEESIES, G. A., ASCOUGH, II J. C., LAFLEN, J. M. 1995: Plant parameter database for erosion prediction models. — *Applied Engineering in Agriculture of ASAE* 11 (5), pp. 659–666.
- DEMÉNY, K., CENTERI, Cs., JAKAB, G. 2010: Soil loss calculations with WEPP and USLE models on a sloping arable land near Isaszeg, Hungary. — *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science*, pp. 62–65.
- FAO 2006: World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication. — World Soil Resources Reports No. 103, Rome, 132 p. (Soil Classification)
- FLANAGAN, D. C., GILLEY, J. E., FRANTI, T. G. 2007: Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development history, model capabilities, and future enhancements. — *Transactions of the ASABE* 50 (5), pp. 1603–1612.
- GELENCSE, G., CENTERI, Cs., JAKAB, G., VONA, M. 2010: Comparison of the results of modeling soil loss with WEPP and USLE in the Koppány Valley, Hungary. — *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science*, pp. 8–11.
- GOURNELLOS, TH., EVELPIDOU, N., VASSILOPOULOS, A. 2004: Developing an Erosion risk map using soft computing methods (case study at Sifnos island). — *Natural Hazards* 31 (1), pp. 39–61.
- GRISMER, M. E. 2007: Soil restoration and erosion control: Quantitative assessment and direction. — *Transactions of the ASABE* 50 (5), pp. 1619–1626.
- IRVEM, A., TOPALOGLU, F., UYGUR, V. 2007: Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. — *Journal of Hydrology* 336, pp. 30–37.
- JAKAB, G., SZALAI, Z. 2005: Erodibility measurements in the Tettes catchment using rainfall simulator. — *Tájökológiai Lapok (Hungarian Journal of Landscape Ecology)*, 3 (1), pp. 177–189. (in Hungarian)
- JORDAN, Gy., VAN ROMPAEY, A., SZILASSI, P., CSILLAG, G., MANNAERTS, C., WOLDAI, T. 2005: Historical land use changes and their impact on sediment fluxes in the Balaton basin (Hungary). — *Agriculture, Ecosystems and Environment* 108, pp. 119–130.
- KIM, I. J., HUTCHINSON, S. L., HUTCHINSON, J. M. S., YOUNG, C. B. 2007: Riparian ecosystem management model: Sensitivity to soil, vegetation, and weather input parameters. — *Journal of the American Water Resources Association* 43 (5), pp. 1171–1182.
- LAROSE, M., OROPEZA-MOTA, J. L., NORTON, D., TURRENT-FERNÁNDEZ, A., MARTÍNEZ-MENES, M., PEDRAZA-OROPEZA, J. A., FRANCISCO-NICOLÁS, N. 2004: Application of the WEPP model to hillside lands in the Tuxtlas, Veracruz, México. — *Agrociencia* 38, pp. 155–163.
- LIU, B. Y., NEARING, M. A., SHI, P. J., JIA, Z. W. 2000: Slope Length Effects on Soil Loss for Steep Slopes. — *Soil Science Society of America Journal* 64, pp. 1759–1763.
- MOFFET, C. A., PIERSON, F. B., ROBICHAUD, P. R., SPAETH, K. E., HARDEGREE S. P. 2007: Modeling soil erosion on steep

- sagebrush rangeland before and after prescribed fire. — *Catena* 71 (2), pp. 218–228.
- PANDEY, A., CHOWDAY, V. M., MAL, B. C., BILLIB, M. 2008: Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model. — *Journal of Hydrology* 348, pp. 305–319.
- RISSE, L. M., NEARING, M. A., SAVABI, M. R. 1994: Determining the Green and Ampt effective hydraulic conductivity from rainfall-runoff data for the WEPP model. — *Transactions of the ASAE* 37, pp. 411–418.
- SHEN, Z. Y., GONG, Y. W., LI, Y. H., HONG, Q., XU, L., LIU, R. M. 2009: A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area. — *Agricultural Water Management* 96, pp. 1435–1442.
- SZILASSI, P., JORDAN, G., VAN ROMPAEY, A., CSILLAG, G. 2006: Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the Kali Basin at Lake Balaton, Hungary. — *Catena* 68 (3), pp. 96–108.
- VEIHE, A., REY, J., QUINTON, J. N., STRAUSS, P., SANCHO, F. M., SOMARRIBA, M. 2001: Modeling of event-based soil erosion in Costa Rica, Nicaragua and Mexico: evaluation of the EUROSEM model. — *Catena* 44 (3), pp. 187–203.
- WALKLEY, J. 1947: A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. — *Soil Science* 63, pp. 251–264.
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. 1978: Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. — U.S. Department of Agriculture. Handbook no. 537., 85 p.

## Data of total mercury content in soils and plants in San Joaquín, Querétaro, Mexico

*Adatok a San Joaquín terület (Querétaro, Mexikó) talajainak és növényzetének összes higanytartalmára vonatkozóan*

SERGIO MARTÍNEZ-TRINIDAD<sup>1</sup>, GILBERTO HERNÁNDEZ-SILVA<sup>1</sup>, SARA SOLÍS-VALDEZ<sup>1</sup>, PÉTER SCHAREK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Qro, México

<sup>2</sup>Geological Institute of Hungary 1143 Budapest Stefánia str. 14.

e-mail: sergiomtzt@geociencias.unam.mx

Keywords: mercury, soils, sediments, maize plant, Sierra Gorda, México

### Abstract

The natural geological environment and the cinnabar mining activities bring about high total mercury (Hgt) concentration in the environment that ranges from 2.4 to 4164 mg/kg, caused by the weathering, erosion, transport, oxidation processes as well as the humidity and temperature changes in the study area. In relationship to the soil component, there is a greater accumulation of Hg in agriculture soil (0.5 to 314mg/kg) than in forest soil (0.2 to 69mg/kg), while high values of Hgt (0.6 to 687mg/kg) were found in the sediments influenced by the point source of the mines. The biological component (maize plant) showed higher accumulation of Hgt in roots (3.4mg/kg) and leaves (2.3mg/kg) than in the stem (0.48mg/kg) and grain (0.14mg/kg), possibly caused by the high concentration of mercury in the soil, as well as the mercury atmospheric deposition. The organic matter content is an indicator of retention and accumulation of mercury. Therefore, total mercury concentrations in soils are related to their chemical characteristics. In the study area there are concentrations of total mercury greater than the Mexican Environmental Standard.

Tárgyszavak: higany, talajok, üledékek, kukorica, Sierra Gorda, Mexikó

### Kivonat

A természetes földtani környezet és a cinnabarit bányászati tevékenység 2,4-től 4164 mg/kg értékig terjedő magas összes higany (Hgt) koncentrációt eredményez a kutatási területen melyet a mállás, erózió, áthalmazás, oxidációs folyamatok mellett a nedvesség és a hőmérséklet változása is okoz. A talaj alkotóelemével összefüggésben a szántóföldi talajban magasabb (0,5–314 mg/kg) Hg felhalmozódás van mint az erdei talajban (0,2–69 mg/kg), ugyanakkor magas Hg értékeket (0,6–687 mg/kg) találtunk a bányák pontszerű hatásának kitett üledékekben is. A biológiai alkotó (kukorica) magasabb Hg felhalmozódást mutatott a gyökérben (3,4mg/kg) és levelekben (2,3 mg/kg), mint a szárban (0,48 mg/kg) és a termésben (0,14 mg/kg), melyet valószínűleg a talajok magas higany koncentrációja és a higany levegőből való kiülepedése okozott. A szerves anyag tartalom a higany megkötés és felhalmozódás egyik indikátora. Ezért az összes higany koncentráció a talajokban kapcsolatban van azok kémiai tulajdonságaival. A vizsgált területen a Mexikói Környezetvédelmi Szabványnál nagyobb összes higany koncentráció található.

### Introduction

The mining district of San Joaquin Querétaro, México, was an important national productive zone of mercury in the 60's and 70's of the last century. Mercury mineralization in the region is hosted in veins contained in the Cretaceous and Jurassic marine formations of the Sierra Gorda of

Querétaro. This mineralization is related to hydrothermal processes that have taken place in the region, which in turn have their origin in the Neogene magmatism. Rock weathering has remained as heredity associated with the soil, sediments and plants. Thus, the effect on the environment through various processes such as erosion, leaching, oxidation, transport, etc., may cause mercury to

remain in the environment or be transported far away; after many years of mine closure, high amounts of mercury can still be found (PARSONS, PERCIVAL 2005). As a result of weathering processes and the processing of cinnabar by pre-Hispanic and present population (cinnabar, arsenopyrite, pyrite, stibnite and antimonite), a significant portion of the mercury remains even in the surrounding environment (HERNÁNDEZ-SILVA et al. 2009). In addition, man can be a receptor of mercury through inhalation of particles from the air, direct contact or ingestion through the accumulation of these elements in the food chain. These mechanisms have operated in the past and present (PYATT et al. 2005). Therefore, the study of total mercury concentrations in terrestrial compartments in the region is important to know their dispersal, relationship with the characteristics of the medium, which is important to understand the ecosystem's sensitivity to contamination; it could be the preamble for a study of the biogeochemical cycle. The aim of this study was to determine total mercury levels in soil and plant in the San Joaquín region and to present a model of possible relationship between the mercury content and soil organic matter.

## Methods and Materials

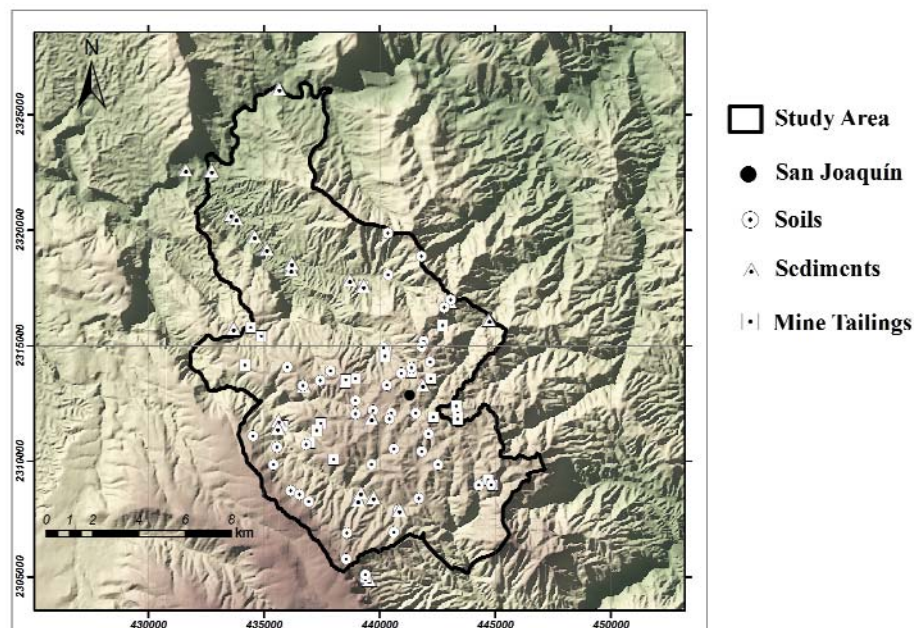
### *Characteristics of Study Area*

The San Joaquín region lies in the South of the Sierra Gorda of Querétaro, comprising approximately 172 square kilometres and is located between latitudes 99°40' and 99°30' W longitude and 21°10' and 20°50' N. The Sierra Gorda is part of the geological province of the Sierra Madre Oriental, composed of numerous marine Mesozoic formations deformed and folded during the Laramian

orogeny. As a result; the Mesozoic rocks form the structural framework of the Sierra Gorda. In the region, there is a sequence of Mesozoic marine formations of Jurassic and Cretaceous types, as well as Cenozoic formations of continental origin. They represent very large, powerful, and thick formations that extend for hundreds of kilometres with a SE–NW orientation. In the study region, mercury is associated with low temperature hydrothermal deposits and deep faults with ample displacement and a NW–SE orientation that were used by the hydrothermal fluids to deposit them in the earth's crust as a cinnabar residue with calcite (VASSALLO 2000). The stratigraphic column is represented by Upper Jurassic volcano-sedimentary rocks, with a predominance of limestone, marlstone and alternating lutites and limestone (SUTER 1987). During the Late Jurassic, marine transgression occurred, which gave rise to a sequence of thin limestone and marl deposits (JIMENEZ, PANIAGUA 1990). The whole series represents sub-humid climates from temperate to dry or arid climates (REYNA 1970). According to INEGI (1989), major soil units are Litosol, calcareous Regosol and chromic Luvisols. The predominant vegetation types are grasslands, forests of pine, oak forest, cloud forest, juniper forest, gallery forest, desert scrub, desert scrub and scrub submontane, with some small and isolated areas of agriculture (ZAMUDIO et al. 1992).

### *Sampling*

The sampling design was based on the criteria of rock type, geological formation, types of mines, soil unit, land use and hydrological watersheds. Sampling sites were georeferenced using GPS (Figure 1). Each sampling site of



**Figure 1.** Location of the study area and sample sites

*1. ábra.* A kutatási terület és a mintavételi helyek elhelyezkedése

soils and tailings represents a sample of 5 subsamples at distances of 50m each, and a depth of 0–25cm. Sediment samples were collected from 100m sections along some streams, rivers, and small alluvial terraces. Tailings were sampled from skarn and hydrothermal type mines. The main crop was maize, with sampling roots, stems, leaves and grains. There are 25 sediments samples, agricultural soils (12), forestry soils (22), tailings (22) and some structures of maize plant: root (4), stalk (13), leaf (6) and grain (11).

#### Laboratory Analysis

For the mercury analysis the samples were not decomposed. Advanced mercury analyzer AMA-254 from the Geological Institute of Hungary (MÁFI) was used for determination of total mercury in soils, sediments and tailings, by incineration method (BARTHA et al. 2009). The soil and tailing samples were dried and sieved at room temperature. In order to set the total mercury content in the structure of maize, the analysis was carried out by atomic absorption spectrometry and mass spectrometry induced

with plasma (ICP-MS) and graphite furnace from the Geosciences Centre (UNAM). On the other hand, samples were analyzed to determine some physical properties: moisture, texture, bulk and particle density, porosity, soil temperature and chemical pH, redox potential, organic matter, cationic exchange capacity, carbonates, sulphates and chlorides in soils and sediments using the ISRIC (2002) and NOM-021-SEMARNAT (2000) techniques.

#### Mapping

It consists of the elaboration of thematic maps of the different variables of the geological substrate, terrain, climate, soil properties (physical and chemical), land use and/or vegetation (Figure 2). This will serve to integrate and combine information as well as to develop a new map, which may be analyzed through a different approach, extracting the relevant features and matching interactions. This will give way to the understanding of the biogeochemical cycle of mercury in the region. The information will be processed with the ArcGIS 9.2 system.

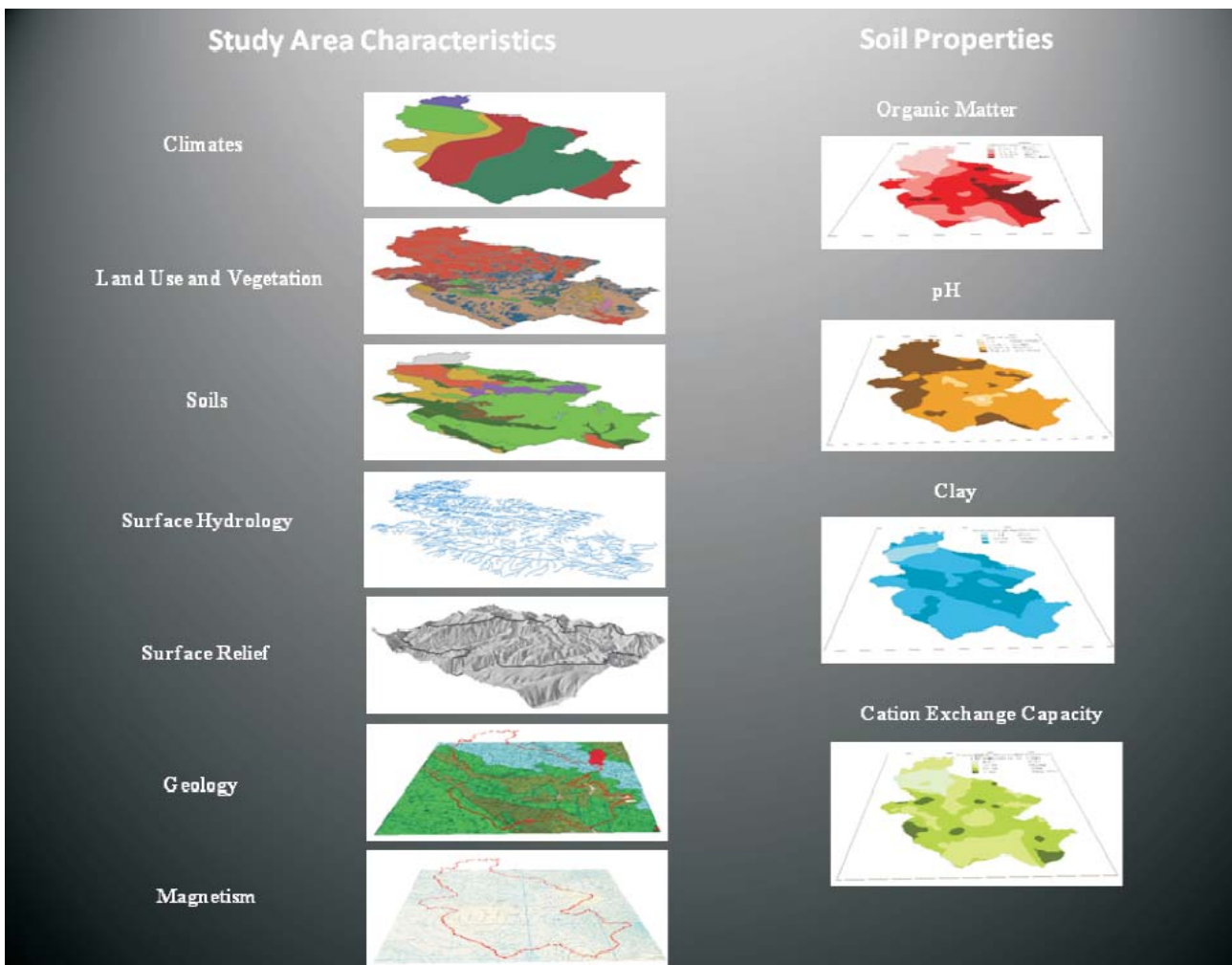


Figure 2. Thematic maps of study area for development mercury biogeochemical cycle in the region

2. ábra. A terület higany biokémiai ciklusának kialakulását bemutató térképek

## Results and discussion

### Tailings

The stratigraphically mineralized region of San Joaquin is represented by Mesozoic platform and sea-bed formations, and traces of Palaeogene formations / Neogene continental sedimentation and magmatism. Structurally the region is characterized by the presence of large thrust faults and spectacular folds anticlines and synclines oriented NW–SE related to plate tectonics of the Laramian orogeny, (MARTÍNEZ-REYES et al. 2009). The study area consists mainly of limestone. The ore of mercury is cinnabar, a mineral that is hosted in faults and fractures in streaks preferably encased in carbonate formations. The factors controlling the mineralization type are geological tectonic-structural and geochemical silica-carbon type. Table 1

tailings could be exposed to wind and rain movements and may cause their migration to other compartments of the ecosystem.

### Soil

The association of both chromic Cambisols and Luvisols presented the highest concentration of total mercury (Table 2). The predominant soil unit is the chromic Luvisol, which is characterized by the washing of clay from upper horizons to accumulate in a deeper area. This migration of clay can influence a greater susceptibility to erosion, which could promote the transport of mercury. There is a greater accumulation of total mercury in agriculture soil than in forest soil. According to the Official Mexican Norm 2004, 46% of the soil samples analyzed showed mercury concentrations greater than the maximum

**Table 1.** Total mercury concentration in different geological units.

*1. táblázat. Összes higany koncentráció különböző földtani egységekben*

Geological Unit	Fra/Period/Epoch	Formation	Samples numbers	Hgt mg/kg	Standard Deviation	Min-Max mg/kg
Mudrock-Limestone	Mesozoic-Cretaceous-Upper	Soyatal-Mezcala	11	318	587	2.4 2000
Limestone	Mesozoic-Cretaceous-Lower	El Doctor	12	413	820	3.7 2970
Loam-Limestone	Mesozoic-Jurassic-Lower	Las Trancas	4	1481	1893	3.8 4164

shows total mercury concentrations of the land veins embedded in different geological units. In forming Las Trancas, Jurassic-Lower Mesozoic, the geologic unit made up of loam-limestone presented the highest concentration total mercury 4164mg/kg. It is observed that 37% of the tailings samples analyzed showed mercury concentrations greater than the limit allowed for industrial use (310mg/kg), considering the Mexican Environmental Norm 2004. Mine

limit established for agricultural use (23mg/kg). HERNÁNDEZ-SILVA et al. (2009) mentioned that pre-Hispanic agriculture and mining could be associated with their daily activities, although with relatively low content in the environment, but due to the cumulative nature of mercury, a bioaccumulation and biomagnification of mercury could have occurred.

**Table 2.** Total mercury concentration for soil unit and land use

*2. táblázat. Összes higany koncentráció talaj egységek és földhasználat szerint*

Soil Unit					
Key of Association	Soil Unit	Samples numbers	Hgt (mg/kg)	Standard Deviation	Min-Max (mg/kg)
Lc + Cc + Af	chromic Luvisol chromic Cambisol ferric Acrisol	23	21.4	39.6	0.2 180
Lc + Ao	chromic Luvisol orthic Acrisol	6	6.7	4.8	3.6 16.3
Lc + Li	chromic Luvisols Litosol	3	1.2	1.0	0.5 2.4
Land Use					
	Land Use	Samples numbers	Hgt (mg/kg)	Standard Deviation	Min-Max (mg/kg)
	Agriculture	12	55.4	95.6	0.5-314
	Forest	26	8.75	15.7	0.2 69

### Sediment

The location of the sediment samples collected is presented in Figure 3. The total mercury concentrations ranged from 0.6mg/kg to 687mg/kg with the average 67.5mg/kg. The mercury in the sediments tends to decrease with increasing distance from the source of contamination, represented in this case, by mines (HERNÁNDEZ-SILVA et al. 2009). Sediments are a natural means of transportation of mercury loads, bringing about their dispersion into the drainage network. The rugged terrain of the studied region is a factor favouring the transport of mercury in the sediments.

### Maize plant

Table 3 shows total mercury concentrations in the structure of the maize plant. Higher accumulation of total mercury can be observed in roots and leaves than in the stem

**Table 3.** Total mercury concentration in the parts of the plant (maize plant)

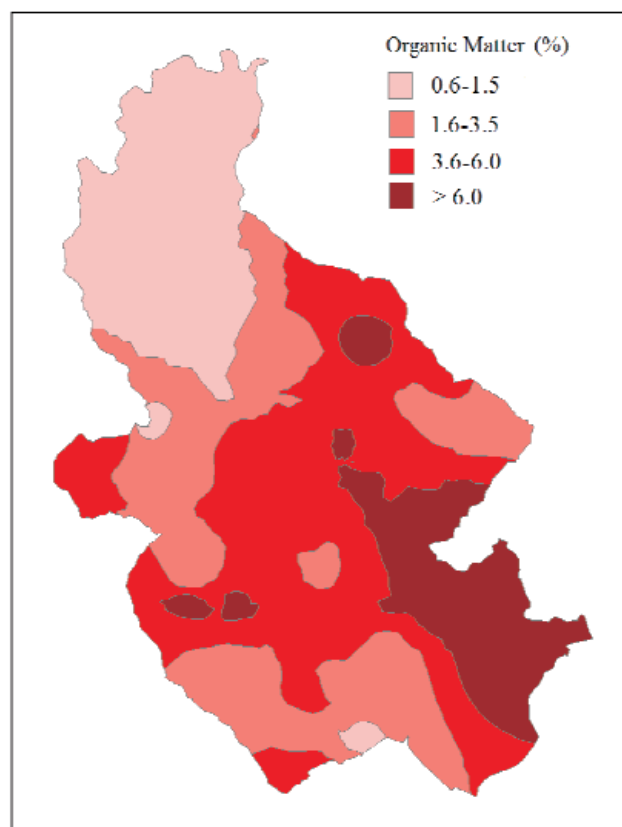
**3. táblázat.** Összes higany koncentráció a növényi részekben (kukorica)

	Samples numbers	Hgt (mg/kg)	Standard Deviation	Min-Max (mg/kg)
Root	4	3.4	4.0	0.2-8.7
Stem	13	0.48	0.37	0.06-1.0
Leaf	6	2.3	3.2	0.2-8.2
Grain	11	0.3	0.2	0.04 0.90

and grain. TEMMERMAN et al. (2009) indicate that mercury absorption through the plants' roots is proportional to the exposition concentration in the soil. STAMENKOVIC, GUSTIN (2009) suggest that mercury absorption in foliage occurs through the stomas, increasing its accumulation when the atmospheric mercury concentrations increase. Mercury concentrations in maize grain (0.04 to 0.9mg/kg) were higher the 0.5mg/kg limit defined by the World Health Organisation (2004) in contaminated food that can still be sold for human consumption. Bioaccumulation of mercury in crops is an entrance source of mercury into the food chain, through foliage consumption by cattle, or grains by humans (ROTHENBERG et al. 2007).

### Relationship of organic matter and mercury

Terrestrial soils represent a large store of mercury, but there is a great heterogeneity in its distribution due to its properties and the related processes. Figure 3 shows the content of organic matter within the study area. According to the Official Mexican Norm 2000, soils containing more than 3.6% organic matter are considered as high; consequently, over 50% had high concentrations. Mercury is tightly bound to organic matter because of its affinity for sulphur-containing functional groups found in organic



**Figure 3.** Map of the content of organic matter in the study area  
3. ábra. A szerves anyag tartalom térképe

molecules (SKYLLBERG et al. 2000). In acid soils (pH 3 to 5), soluble organic matter has a high contribution to the solubility of mercury, although neutral soils or soils with low organic matter the solubility will be dominated by clay minerals and Fe oxides, and mercury mobility increases with decreasing pH. The strong bonds result in low availability and mobility of mercury, however, under certain conditions it can be mobilized resulting in the decrease of pH and low organic matter content (RAVICHANDRAN 2004).

### Mercury in the landscape

The outline of the total mercury concentrations in the landscape can be seen in Figure 4. It shows different concentrations of total mercury that exists in forest soils, agricultural soils, sediments, tailings and in the parts of the plants

### Conclusions

The high mercury production that once existed in the region, especially in the 1960's and 70's, has left a considerable amount of tailings exposed to weathering and erosion. A high accumulation of mercury can be observed in



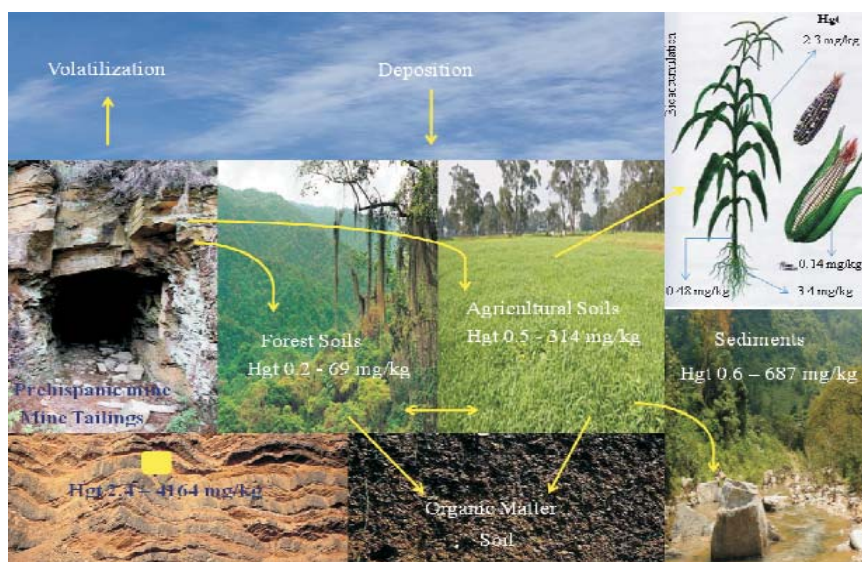


Figure 4. Mercury in the environmental components of the southern region of Sierra Gorda  
 4. ábra. A higany a Sierra Gorda déli régió környezeti elemeiben

soils and sediments. Bioaccumulation of mercury is manifested in the maize plant, mainly in the roots and leaves. Significant concentrations of total mercury in maize grains were found with values exceeding the Mexican Environmental Standard. The soils were classified as rich in organic matter. It is possible to find out a relationship with total mercury content. This property is an indicator of retention and accumulation of mercury. The organic matter map allows recognizing the areas where mercury accumulation is greater. The spatial distribution of other soil properties will facilitate to understand the behaviour of mercury in the landscape as well. It is

therefore necessary to initiate specific studies to help increase awareness of mercury pollution, including mercury deposition from the atmosphere, volatilization of mercury and speciation of mercury in soils

### Acknowledgments

This study was supported by the grant PAPIIT-UNAM No. 22IN114910 and the Mexican (CONACYT) and Hungarian (NKTH) Bilateral Fund.

### References — Irodalom

- BARTHA, A., BALLÓK, M., BERTALAN, E., SCHAREK, P. 2009: Analytical methods of the determination of total Hg and toxic metal contents and their application on samples of San Joaquín's region. — In: HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.): *Mercurio: Impacto en el Hombre y la Naturaleza, al Sur de la Sierra Gorda de Qro., México*. — Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Qro., México. vol. I, pp. 34–40.
- HERNÁNDEZ-SILVA, G., SCHAREK, P., BARTHA, A., SOLORIO-MUNGUÍA, G., VASALLO-MORALES, L., LUGO-DE LA FUENTE, J., TULLNER, T., CENTERI, C., MARTÍNEZ-REYES, J. 2009: Contenido de mercurio total en suelos, sedimentos y terreros al Sur de la Sierra Gorda de Qro., México. — In: HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.): *Mercurio: Impacto en el Hombre y la Naturaleza, al Sur de la Sierra Gorda de Qro., México*. — Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Qro., México. vol. I, pp. 41–48.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática] 1989: *Carta edafológica de San Joaquín, Querétaro, escala 1:50,000*. — Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.
- ISRIC [International Soil Reference and Information Center] 2002: *Procedures for soil analysis: sixth edition*. — International Soil Reference and Information Center, The Netherlands. 120 p.
- JIMÉNEZ, A., PANIAGUA, C. 1990: Estudio geológico-minero de la porción sureste de la Sierra Gorda en el estado de Querétaro. — *Tesis de licenciatura*, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura – Unidad Ticomán, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 96 p.
- MARTÍNEZ-REYES, J., MITRE-SALAZAR, L. M., HERNÁNDEZ-SILVA, G., HINOJO-ALONSO N. A., 2009: La mineralización de mercurio (Hg) en la Sierra Gorda, región de San Joaquín, Qro., México. Marco Geológico. — In: HERNÁNDEZ-SILVA, G. (ed.): *Mercurio: Impacto en el Hombre y la Naturaleza, al Sur de la Sierra Gorda de Qro., México*. — Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Qro., México. Vol. I, pp. 5–15.
- NOM-021-SEMARNAT 2000: *Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos: estudios, muestreos y análisis*. — Norma Oficial Mexicana, Diario Oficial de la Federación, México, D.F.

- PARSONS, M. B., PERCIVAL, J. B. 2005: A brief history of mercury and its environmental impact. — In: PARSONS, M. B., PERCIVAL, J. B. (eds): *Mercury, sources, measurements, cycles, and effects*. — Association of Canada, Short Course Series, 34, pp. 1–20.
- PYATT, F. B., PYATT, A. J., WALTER, C., SHEEN, T., GRATTAN, J. P. 2005: The heavy metal of skeletons from an ancient metalliferous polluted area in southern Jordan with particular reference to bioaccumulation and human health. — *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60, pp. 295–300.
- RAVICHANDRAN, M. 2004: Interactions between mercury and dissolved organic matter — a review. — *Chemosphere* 55, 319–331.
- REYNA, T. 1970: Aspectos climáticos del estado de Querétaro. — *Boletín del Instituto de Geografía* 3 (3), pp. 96–133.
- SKYLLBERG, U., XIA, K., BLOOM, P. R., NATER, E. A., BLEAM W. F. 2000: Binding of mercury (II) to reduced sulfur in soil organic matter along upland-peat soil transects. — *Journal of Environmental Quality* 29, pp. 855–865.
- STAMENKOVIC, J., GUSTIN, M. S. 2009: Nonstomatal and stomatal uptake of atmospheric mercury. — *Environmental Science and Technology* 43, pp. 1367–1372.
- SUTER, M. 1987: Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico. — *Geological Society of America Bulletin* 98, pp. 249–264.
- TEMMERMAN, L., WAEGENEERS, N., CLAEYS, N., ROEKENS, E. 2009: Comparison of concentrations of mercury in ambient air to its accumulation by leafy vegetables: An important step in terrestrial food chain analysis. — *Environmental Pollution* 157, pp. 1337–1341.
- VASSALLO, L. F., STAROSTIN, V. I., SHATAGIN, N. N. 2000: Osnovine cherti metallogenii Meksiki (Fundamental Characteristics of the Metallogeny of the Central Part of Mexico). — *Izvestiya sekcii nauk o zemle (RAEN) Rossiiskoi Akademii Estestvennih Nauk. (Journal Izvestiya Earth Sciences Section Russian Academy of Natural Sciences)* 5, pp. 33–44.
- WHO-IPCS, 2004: *WHO Food Additives Series: 52. Safety evaluation of certain food additives and contaminants*. — World Health Organization, Geneva, Switzerland. Additives Series 52.
- ZAMUDIO, S., RZEDOWSKI, J., CARRANZA, E., CALDERÓN, G. 1992: *La vegetación del estado de Querétaro*. — Instituto de Ecología, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, Pátzcuaro, Michoacán, México, 92 p.

# Prehistoric mining in Hungary

## *Őskori bányászat Magyarországon*

KATALIN T. BIRÓ

Hungarian National Museum, 1088 Budapest Múzeum krt. 14–16, e-mail: tbk@ace.hu

Keywords: mining, prehistory, siliceous rocks, Hungary

### Abstract

Mining is one of the most ancient crafts in the life of mankind. With the general spread of tool-making and other artisan activities, the need for specific and good quality raw materials immediately appeared. Mining features are known from the Middle Palaeolithic period onwards, i.e., the cultural sphere of the Neanderthal Man; in absolute chronological dates, approximately 40000 years BC. The first exploitation sites aimed at the procurement of lithic raw materials, notably, siliceous rocks. In a rough generalisation, they are referred to as “flint mines”. The international scientific research centred on them uses this term, too (i.e. Union International des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques Commission on flint mining in Pre- and Protohistoric times). With the advance of technology and the appearance of cultural needs, the range of mined goods extended to other lithic resources, pigments, salt, metals and decorative stones as well. This paper deals with prehistoric mines known and published so far from Hungary and their current state of research.

Tárgyszavak: bányászat, őskor, kovaközetek, Magyarország

### Kivonat

A bányászat a legrégebb mesterségek egyike. A kőszköz-készítés és használat általános elterjedésével hamarosan felmerült az igény speciális és jobb minőségű nyersanyagok beszerzésére. Ennek értelmében az első bányahelyek már az őskor középső szakaszától megjelentek és folyamatosan használatban voltak a kőszköz-készítés valamennyi periódusában. Az első kitermelő helyeken ún. pattintott kőszköz nyersanyagokat, elsősorban kovaközeteket bányásztak, ezért általánosságban ezeket a lelőhelyeket „kovabányáknak” vagy kevésbé pontos szóhasználatlaltal „tűzkőbányáknak” hívjuk. Kutatásukra a nemzetközi ősrégészeti kutatás külön szakbizottságot hozott létre (Union International des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques Az őskor és őskori kovabányászati kutatások munkabizottsága néven). A technológia és a nyersanyag iránti igények függvényében a bányászott nyersanyagok köre még az őskorban jelentősen kiszélesedett az egyéb kőszköz-nyersanyagok, festékek, só, fémek és ékkövek irányába. Ez a cikk az őskori bányák magyarországi kutatásának történetét és jelenlegi állását mutatja be.

### Introduction

Mining is among most ancient human activities documented in the archaeological record (VERMEERSCH, PAULISSEN 1997). The motive for the systematical exploitation of various rocks and minerals is rooted in the effort of collecting the best possible raw material for tools as well as other, more sophisticated needs like ornaments and items of prestige (SIKLÓSI 2004). Mine-fresh material is of better quality and sometimes large quantities were needed for the supply of the local community and other parties

connected directly or indirectly to the owners (supervisors?) of the territory where the raw material sources were located.

Various commodities were exploited already in prehistory, like siliceous rocks (“flint mines”), other rocks for polished stone tools and other stone artefacts, pigments, gemstones and salt (RAPP 2009). Mining of copper ore is documented since the Middle Neolithic period (JOVANOVIĆ 1982). The complexity of prehistoric mining features can be spectacular, involving tens of metres in depth, shafts, and systems of underground galleries.

### Short history of research on prehistoric mining in Hungary

The first prehistoric exploitation sites were claimed by researchers of the 19<sup>th</sup> century and the beginning of the 20<sup>th</sup> century, respectively. J. Mihalik mentioned the possibility of prehistoric mining of limnic quartzite from Korlát and Boldogkőváralja (Tokaj Mts, MIHALIK 1896, 1897) and later on, the geologist Zoltán Schréter presented the limnic quartzite beds of Kács as possible source of “silex” extraction (SCHRÉTER 1916). These were not documented and though we know the geological conditions and the archaeological information seems to support these claims but we do not know the actual sites. The first case, when the existence of the mine was proved beyond doubt is the Miskolc-Avas “flint” mine (hydroquartzite) that was excavated by J. Hillebrand in the 1920-ies (HILLEBRAND 1928, 1929). Since that time, several researchers have performed excavations on this spot (SIMÁN 1979, 1995a; RINGER 2003; RINGER, RINGER, SZAKÁLL 2005, 2007, HARTAI, SZAKÁLL 2008). The opinions on the utilisation period of the exploitation site vary to great extent: from Middle Palaeolithic till Late Neolithic.

History of Hungarian “flint mining” research was summarised several times (VÉRTES 1969, BÁCSKAY 1980, 1982, 1984a, 1984b, 1990a; FÜLÖP 1976, 1984, SIMÁN 1986, BÁCSKAY 1995a–g; DOBOSI 1983, T. BIRÓ, DOBOSI 2002; BÁCSKAY, T. BIRÓ 2003, T. BIRÓ, REGENYE 2003). Studies on classical “flint mines” like Sümeg (VÉRTES 1964, BÁCSKAY 1978, 1979, 1986, 1987, 1990b, 1995a, BÁCSKAY, VÖRÖS 1980) Tata (FÜLÖP 1973) and Korlát (SIMÁN 1995b) are important elements of the study of prehistoric raw material economy and industrial activities in Hungary.

Recently, in the framework of the EU project “Historical Quarries” most of the prehistoric mines were visited again, documented and locations were noted by GPS. The data obtained have several outputs: from simple revision of our comparative database locality data (Litotéka), integration into various data systems, like the Historic quarries database or the Cadastre of Industrial Archaeological monuments in Hungary.

### Catalogue of mines

The catalogue of Hungarian flint mines was published first in WEISGERBER ed. (1980), enumerating 6 mines: Miskolc: Avas, Sümeg: Mogyorós-domb, Tata: Kálvária-domb, Korlát: Ravaszlyuk-tető, Erdőbénye: Sás patak and Boldogkőváralja (BÁCSKAY 1980). This list was complemented with the quarries Erdőbénye (BÁCSKAY 1995b), Bakonycsernye (BÁCSKAY 1995c), Szentgál (T. BIRÓ 1986, 1995, T. BIRÓ, REGENYE 1991), Hárskút (BÁCSKAY 1995d), Dunaszentmiklós (BÁCSKAY 1995e) and 2 quarries from Lábatlan (BÁCSKAY 1995f, g) in 1995. Weisgerber’s catalogue was published in a second edition in 1999 on the occasion of the VIII<sup>th</sup> International Flint Conference in Bochum (KÖRLIN, WEISGERBER ed. 2006)

The new list presented here was compiled for two new internet-based projects, Historic Quarries ([http://www2.sbg.ac.at/chc/chc\\_site\\_en/projekte\\_historicquarries.html](http://www2.sbg.ac.at/chc/chc_site_en/projekte_historicquarries.html)) and the Cadastre of monuments for Industrial Archaeological importance in Hungary (<http://sites.google.com/site/iparregesztikateszter/>). The relevant list is presented on Table 1, while locations of the mines is given on Figure 1.

### New in prehistoric mining

Compared to the last updated catalogue (BÁCSKAY et al. in LECH 1995) the volume Archaeology at the turn of the Millennium (VISY et al. ed. 2003, BÁCSKAY, T. BIRÓ 2003a–b) enumerated 3 “new” mines (Budapest: Farkasrét, Lovas: Mackó-bánya and Kisújbánya: Szamár-hegy), of which only Budapest: Farkasrét is a “flint mine” in the traditional sense; the base publications were already made by the time of the 1995 summary (GÁBORI-CSÁNK 1989, 2006). The mine had probably two basic periods of use, in the Middle Palaeolithic and the younger phase of prehistory (Late Copper Age / Bronze Age). The reason for this is the inferior quality of the hornstone, tectonically fractured. Probably by the metal ages heat treatment could be applied on the raw material to enhance its qualities (T. BIRÓ 2002) Lovas is also not new; it was excavated and published in the 1950-ies and as it is widely known, the raw material exploited here was not silex but red pigment (MÉSZÁROS, VÉRTES 1955). There is, however, essential new evidence concerning dating and material analysis of the pigment (DOBOSI 2006) and as the 2003 survey comprised, apart from „flint mines” other known prehistoric exploitation sites as well, it was added as no. 14. On the list of Hungarian prehistoric mines we added also Kisújbánya: Szamár-hegy, exploitation site of phonolite for polished stone tools. This site was published by T. BIRÓ et al. 2001 in the framework of the IGCP-442 project (Raw materials of the Neolithic/Aeneolithic polished stone artefacts). Locating prehistoric polished stone tool quarries is more difficult than “flint mines” because these outcrops are typically exploited in historical times as well. For Kisújbánya, the fortunate moment was that it is located deep inside Mecsek Mts on a strictly protected area for its natural (biological) endowments, where documents of stone exploitation and chipping can be allegedly dated to prehistory only. For the same reason (natural protection area), only surface survey was done here. The raw material was found at several Late Neolithic settlements and evidences of local workshop activity were documented at the neighbouring Lengyel culture settlement, Zengővárkony (T. BIRÓ et al. 2003).

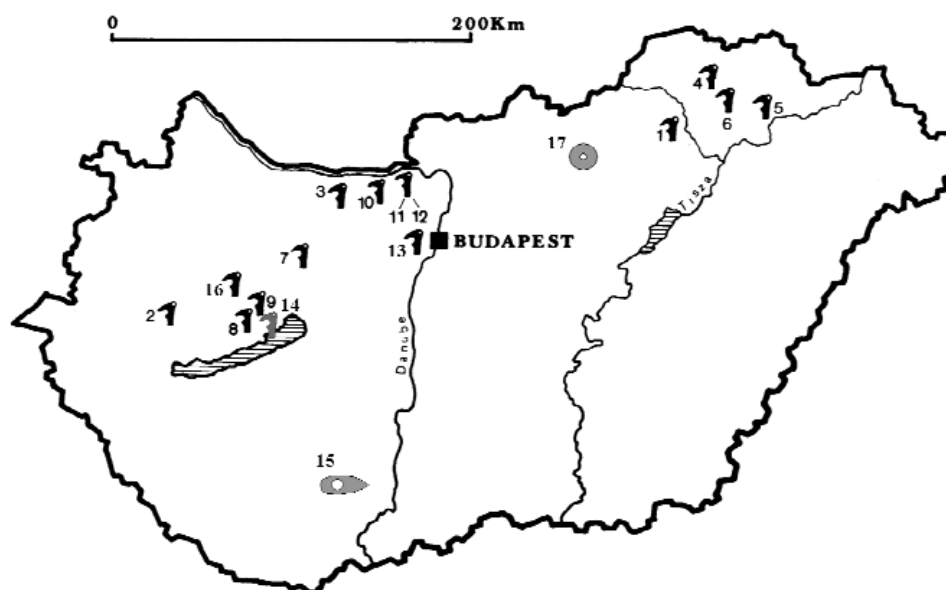
The only new “flint mine” recently excavated is Nagytevel-Kőbánya (Figure 1, no. 16) where Upper Cretaceous flint was exploited for stone tools, according to absolute dates and distribution data, by the population of the Middle Neolithic Linearband Pottery Culture and the Late Neolithic Lengyel Culture (T. BIRÓ 2003, T. BIRÓ et al. 2010). The raw material was spotted previously as important constituent of

Table 1. Main features of prehistoric mines in Hungary

## 1. táblázat. A magyarországi őskori bányák főbb jellemzői

Quarry number	Town / Exact locality	Exploited	Formation period (geological age)	Mining period	Host mine (modern)	Open-air exhibition	Absolute Dates	Coordinate Lat. / Coordinate Long (WGS)	Description and mining features	References
II 1.	Miskolc/ Ávas	hydro-quartzite	Miocene	Palaeolithic-Late Neolithic		(plans)	no dating	N 48 10 / E 20 78	First "flint mine" located and excavated in Hungary. Excavations by Hillebrand (1928), Megy (1936) Simán (1976-78), Ringer (2007). Chipping floor, pits transecting siliceous tuff layer extending to 3-4 m depth. Various opinions on use period from Middle Palaeolithic till Late Neolithic.	PAPP 1907, HILLEBRAND 1928, 1979, SIMÁN 1979, 1995, RINGER 2003, RINGER, SZAKÁLL 2005, 2007, HARTAL SZAKÁLL 2008
II 2.	Símező/ Mogyorósdomb	(radiolarian) chert	Lower Cretaceous	Middle Neolithic-Late Bronze Age		Geological Protection Area (formerly MÁFI, now West Hungarian University)	C-14 Hv 11610 ± 95 BP; Hv 11611 ± 4840 + 110 BP	N 46 57.802 / E 17 17.409*	Largest flint mine excavated in Hungary. Located in course of planting a geological section (L.Kocsis 1958). Excavations: Vértes 1960-1961, Fülöp 1963-1976, Bácskay 1978-1989). Features: trenches, pits, antler tools. C-14 dates, distribution data. Open-air exhibition.	BÁCSKAY 1978, 1979, 1980, 1986, 1987, 1990, 1995, BÁCSKAY, VÖRÖS 1980, FÜLÖP 1975, VÉRTES 1961, VÖRÖS 2007
H-3.	Tata/ Kálvária domb	radiolarite	Middle Jurassic	Copper Age	limestone	Tata Natural Protection Area (ELTE)	LCA shards	N 47 38.383 / E 18 19.026*	On the territory of the geological park with unique Mesozoic section, pits of prehistoric mining were located in Middle Jurassic radiolarite beds. Excavated by: Finds: Late Copper Age shards, antler tools. C-14 dates available. Open-air exhibition.	BÁCSKAY 1980, 1982, 1984a, 1984b, 1990, FÜLÖP 1973, 1976, TÓTH 2008
II 4.	Korlát/ Ravas-lyuk-tető	limnic quartzite	Miocene	Palaeolithic-Bronze Age			no dating	N 48 38 / E 21 25	Excavation by K. Simán, 1983-85. Mining features: siliceous bedrock, chipping floor	SIMÁN 1986, 1995
II 5.	Lirüdbénye/ Sás patak	limnic opalite	Miocene	Upper Palaeolithic-Prehistoric			no dating	N 48 26 / E 21 36	Excavation by E. Bácskay, 1992. Mining features: pit, chipping floor.	BÁCSKAY 1995
II 6.	Boldogkővár-utja/ ?	limnic quartzite	Miocene	Neolithic?			no dating	N 48 33 / E 21 23	Observations by J. Mihálik. Mining features: pits, worked fragments and blocks	MILHALIK 1897
H-7.	Bakony-csernye/ Tűzköves-árok	radiolarite	Middle Jurassic	Neolithic?			no dating	N 47 31 / E 18 08	Located by L. Koesis (1967); excavations by E. Bácskay in 1975. Features: small pits, worked debris, 8 antler tools, no dating.	BÁCSKAY 1980, 1982, 1984a, 1984b, 1990, 1995, FÜLÖP et al. 1969
II 8.	Szentpál/ Tűzköves-hegy	radiolarite	Middle Jurassic	Neolithic			no dating	N 47 08.271 / E 17 41.858*	Largest area with worked radiolarite debris. Excavations by K. Biró 1983-1985, 1993-1995. Mining features: pits (max. 3 m), hammerstones, worked debris. Distribution studies.	BIRÓ 1986, 1995, BIRO, REGENYE 1991, 2003
II 9.	Hárskút / Édesvíz-major	radiolarite	Middle Jurassic	Neolithic?			no dating	N 47 18 / E 17 81	Discovered by J. Konda in 1970 during geological fieldwork. Mining features: pits, worked flakes, antler tools.	BÁCSKAY 1982, 1984a, 1984b, 1990, 1995
II 10.	Dunaszentmiklós/ Tóssói vontató	radiolarite	Middle Jurassic	Neolithic?			no dating	N 47 70 / E 18 38	Discovered by J. Konda and D. Zilagy in the 1980 ies. Mining features: pits, worked flakes, hammerstones.	BÁCSKAY 1984, 1990, 1995
II 11.	Lábalm/ Margit-tető	radiolarite	Middle Jurassic	Prehistoric			no dating	N 47 75 / E 18 50	Cauldron-shaped pit located during geological sondage. Hammerstones, worked debris.	BIRO 1984, BÁCSKAY 1984, 1990, 1995
II 12.	Lábalm/ Pisznice	radiolarite	Middle Jurassic	Neolithic?			no dating	N 47 75 / E 18 50	Mining features: pits, worked flakes, hammerstones.	BÁCSKAY 1984, 1995
H-13.	Budapest/ Farkasrét	hornstone	Upper Triassic	Palaeolithic-Copper Age			C-14 GrN-15367 ± 900 BP; Bern 3470 ± 80 BP	N 47 29.282 / E 18 59.809*	Located by Zs. Baló. Excavated by V. Gábori-Csánk in 1984-1987. Mining features: pits, worked debris, antler tools. C-14 dating.	GÁBORI-CSÁNK 1989, 2006, VÖRÖS 2000
H-14.	Lovas/ Mackó-bánya	red pigment	Triassic / Eocene	Late Palaeolithic	dolomite grit		C-14 ETH-15199 Lovas 11740 ± 100	N 47 01.051 / E 17 55.151*	Red pigment exploitation from dolomite grit. Excavations by L. Vértes and Gy. Mészáros in 1952. Mining features: pits with bone mining tools, chipped stone tools. C-14 dating.	MÉSZÁROS, VÉRTES 1955, VÉRTES 1969, DOMOSI 2006, DOMOSI-VÖRÖS 1979
II 15.	Kisújványa/ Szamár hegy	phonolite	Lower Cretaceous	Late Neolithic			no dating	N 46.15 / E 18.35	Located by Zs. Schleder in course of geological survey. Blocks and worked fragments on the surface. Petrographic and distribution studies. Relation to Zengővárkony LN settlement.	BIRO et al. 2001
H-16.	Nagytevel/ Kőbánya	K3 flint	Upper Cretaceous	Middle Neolithic-Late Copper Age	limestone	Natura 2000 area	OSI. (MÁFI) 7.5 ± 0.9 Ky; 7.6 ± 0.9 Ky; 7.8 ± 1.1 Ky; 10.4 ± 1.2 Ky	N 47 16.433 / E 17 34.905*	The only s.s. flint occurrence in Hungary. Located by D. Bihari. Excavated by K. I. Biró and J. Regenye, 2005-2008. Mining features: pits, worked debris, hammerstones. A few Neolithic shards, OSI. dating. Distribution data.	BIRÓ, REGENYE 2003, BIRÓ-REGENYE in press
II 17.	Domoszló/ Pipis	andesite	Miocene	Prehistoric - submodern				N 47 50.494 / E 20 04.688*	Surface use of scattered andesite blocks, fragments, spoil pieces. Located by Tóth L. and Tóth Z. No excavation, no dating.	T. BIRO, PETTÉRDY 2011

Coordinates marked with asterisk (\*) were measured on spot personally with GPS.



- |                                       |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| H-1. Miskolc: Avas,                   | H-13. Budapest: Farkasrét,     |
| H-2. Sümeg: Mogorós-domb              | H-14. Lovas: Mackó-bánya,      |
| H-3. Tata: Kálvária-domb,             | H-15. Kisújbánya: Szamár-hegy, |
| H-4. Korlát: Ravaszlyuk-tető,         | H-16. Nagytevel: Kőbánya,      |
| H-5. Erdőbénye: Sás patak,            | H-17. Domszló: Pipis           |
| H-6. Boldogkőváralja: ?,              |                                |
| H-7. Bakonycsérnye: Tűzköves-árok,    |                                |
| H-8. Szentgál: Tűzköves-hegy,         |                                |
| H-9. Hárskút: Édesvízmajor,           |                                |
| H-10. Dunaszentmiklós: Hosszúvontató, |                                |
| H-11. Lábatlan: Margit-tető,          |                                |
| H-12. Lábatlan: Pisznice,             |                                |

**Figure 1.** Map of registered prehistoric mines in Hungary

*1. ábra.* Magyarországi nyilvántartott őskori bányák térképe

the Neolithic stone tool inventory but the outcrop was not accessible due to military reasons. In the 1990-ies the territory became accessible and from 2005 to 2008, the Hungarian National Museum and the Veszprém County Museum Directorate performed excavations here. A large mining field was discovered, partly destroyed by recent quarrying (for limestone). The excavations were finished in 2008 and a preliminary report produced for *Archaeológiai Értesítő* (T. BIRÓ et al. 2010).

The last prehistoric quarry on the list is a very special case. It is a millstone/quernstone quarry of possibly very long period of utilisation, the first of this kind registered in Hungary (T. BIRÓ, PÉTERDI 2011). It was found in 2009, at Domszló: Pipis, on a high slope of the Mátra Mts., large rounded blocks of andesite could be spotted knapped into millstones and, probably prehistoric, quernstones. The site was observed and located by Zoltán and Lajos Tóth. So far, only a preliminary survey was made at the locality, and preliminary characterisation studies (petrography, geochemistry) were made on the raw material. More research is needed both on the locality and concerning its actual distribution.

## Conclusions

Prehistoric mining is documented in Hungary from the Middle Palaeolithic period onwards. The exploited raw material is used for various purposes and of various lithology. The most typical commodity for mining is siliceous rocks, radiolarite, limnic silicites, hornstone and flint used for chipped stone tools. Raw material for polished stone tools and grinding stones was equally exploited, though we can prove its prehistoric exploitation only in special and very fortunate instances. Among the prestige (cultic?) goods exploited, that were not directly connected to everyday need of tools, the use and extraction of pigments is documented.

Prehistoric quarries are important elements of the industrial, archaeological and cultural heritage. In spite of that, the remains are more often neglected and sometimes even destroyed. There are two open-air presentation sites in Hungary where visitors can see these unique remains (at Tata and Sümeg), but their maintenance is rather difficult.

Probably more “mines” could be located and docu-

mented, but their identification needs an archaeologically as well as geologically trained eye, which is not always feasible. Another problem is dating; mining features are very difficult to date, and can probably be dated for a longer

period only. There are also a lot of practical problems concerning excavation and elaboration of archaeological material recovered from the prehistoric “mines” — lot of problems for future research.

## References — Irodalom

- BÁCSKAY, E. 1978: A sümeg-mogyorósdombi őskori kovabányában 1976-ban végzett ásatás. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1978-ról*, 389–393.
- BÁCSKAY, E. 1979: A sümeg-mogyorósdombi őskori kovabányában 1977. évben végzett régészeti ásatás. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1978-ról*, 413–415.
- BÁCSKAY, E. 1980: Zum Stand der Erforschung prähistorischer Feuersteinbergbau. — In: WEISGERBER, G. (ed.): 5000 Jahre Feuersteinbergbau. Deutschen Bergbau-Museum Bochum, 179–182.
- BÁCSKAY, E. 1982: Újabb ásatások őskori tűzkőbányákban (Neuere Ausgrabungen in prähistorischen Feuersteingruben). — *Communications Archaeologicae Hungaricae* 1982, pp. 5–14.
- BÁCSKAY, E. 1984a: Óskori tűzkőbányák a dunántúli középhegységben (Prehistoric flint mines in the Transdanubian Central Mountains). — *Iparrégészet* 2, 11–24.
- BÁCSKAY, E. 1984b: Prehistoric flint mines (exploitation sites) in Hungary and their role in the raw material supply. — In: KANCHEV, K. (ed.): *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Seminar in Petroarchaeology*. pp. 127–145.
- BÁCSKAY, E. 1986: State of affairs at Sümeg. — T. BIRÓ, K. (ed.) 1986: *Óskori kovabányászat és kőszköz-nyersanyag azonosítás a Kárpát medencében / International conference on prehistoric flint mining and lithic raw material identification in the Carpathian Basin, Sümeg 1986* (1) Budapest, pp. 11–26.
- BÁCSKAY, E. 1987: New field surveys near the Sümeg-Mogyorósdomb prehistoric flint mine. — In: T. BIRÓ, K. (ed.) 1987: *Óskori kovabányászat és kőszköz-nyersanyag azonosítás a Kárpát medencében / International conference on prehistoric flint mining and lithic raw material identification in the Carpathian Basin, Sümeg 1987* (2) Budapest, 17–21.
- BÁCSKAY, E. 1990a: La minería prehistórica en Hungría. — *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada* 1986 (11), pp. 273–325.
- BÁCSKAY, E. 1990b: New investigations into the processing and distribution of flint from the Sumeg-Mogyorósdomb flint mine in Hungary. — *Cahiers du Quaternaire* 17, 239–250.
- BÁCSKAY, E. 1995a: H 2 Sümeg-Mogyorósdomb, Veszprém county. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 383–395.
- BÁCSKAY, E. 1995b: H 5 Erdőbénye-Sás patak, Borsod county. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 395–400.
- BÁCSKAY, E. 1995c: H 7 Bakonycsernye-Tűzköves árok, Fejér county. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 401–402.
- BÁCSKAY, E. 1995d: H 9 Hárskút-Édesvízmajor, Veszprém county. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 408–409.
- BÁCSKAY, E. 1995e: H 10 Dunaszentmiklós-Hosszúvontató, Komárom county. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 409–410.
- BÁCSKAY, E. 1995f: H 11 Lábatlan-Margittető, Komárom county. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 410–411.
- BÁCSKAY, E. 1995g: H 12 Lábatlan-Piszniceető, Komárom county. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 411–412.
- BÁCSKAY, E., T. BIRÓ, K. 2003a: Nyersanyag, bányászat, kereskedelem. — In: VISY, Zs. (ed.): *Magyar Régészet az ezredfordulón (Újkőkorszak)* Budapest, pp. 118–123.
- BÁCSKAY, E., T. BIRÓ, K. 2003b: Raw materials, mining and trade. — In: VISY, Zs. (ed.): *Hungarian Archaeology at the turn of the Millennium*. Budapest, pp. 117–123.
- BÁCSKAY, E., VÖRÖS I. 1980: Újabb ásatások a Sümeg-mogyorósdombi őskori kovabányában (New excavations in the prehistoric flint mine at Sümeg-Mogyorósdomb). — *Veszprém Megyei Múzeumok Évkönyve* 15, pp. 7–47.
- BÁCSKAY E., SIMÁN, K., T. BIRÓ K. 1995: Hungary. [in separate entries by localities. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 383–412.
- DOBOSI, V. 1983: Óskori és római bányászat a Kárpát medencében. — *Bányászati és Kohászati Lapok* 116 (9), pp. 586–597.
- DOBOSI, V. 2006: Lovas (Hungary) ochre mine reconsidered. — In: KÖRLIN, G., WEISGERBER, G. (eds): *Proceedings of the VIIIth Flint Symposium. Der Anschnitt. Zeitschrift für Kunst und Kultur im Bergbau Bochum* 19, pp. 29–36.
- DOBOSI, V., VÖRÖS, I. 1979: Data to the evaluation of the finds assemblage of the Palaeolithic paint mine at Lovas. — *Folia Archaeologica* 30, pp. 8–25.
- FÜLÖP, J. 1973: Funde des prähistorischen Silexgrubenbaues am Kálvária-Hügel von Tata. — *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 25, pp. 3–25.
- FÜLÖP, J. 1976: Relics of prehistoric flint mining in Hungary. — In: ENGELEN, F.G. H. (ed.): *Proceedings of the Second International Symposium on flint, Staringia* 3, pp. 72–77.
- FÜLÖP, J. 1984: *Az ásványi nyersanyagok története Magyarországon*. — Budapest Műszaki Könyvkiadó, 179 p.
- GÁBORI-CSÁNK, V. 1989: Európa legrégebb bányászati emléke Farkasréten. — *Magyar Tudomány* 1, pp. 13–21.
- GÁBORI-CSÁNK, V. 2006: Európa legrégebb bányászati emléke Farkasréten. — *Bányászattörténeti Közlemények* 1/2, pp. 3–14.
- HARTAI, É., SZAKÁLL, S. 2008: A Miskolc-avasí paleolitikumi kovakőbányászat földtani-ásványtani háttere [Geological-mineralogical background of the Palaeolithic flint mining...]. — In: SZAKÁLL S. (szerk.): *Az ásványok és az ember a mai Magyarország területén a XVIII. század végéig*. — *Bányászat* 74, pp. 241–242.
- HILLEBRAND, J. 1928: Über ein Atelier des „Proto-Campignien“ auf dem Avasberg in Miskolcz (Ungarn) *Eiszeitalter und Urgeschichte* 5, pp. 53–59.
- HILLEBRAND, J. 1929: Neuere Ausgrabungen auf dem Avasberg bei Miskolcz in Ungarn. — *Eiszeitalter und Urgeschichte* 6, pp. 136–141.

- JOVANOVIĆ, B. 1982: Rudna Glava. Nastarije rudarstvobakra na Centralnom Balkanu (Rudna Glava. Der älteste Kupferbergbau im Zentralbalkan). — Bor-Beograd, Arheološki Institut, Beograd, pp. 1–155.
- KANCHEV, K. ed. 1984: *Proceedings of the 3rd International Seminar in Petroarchaeology. Plovdiv 1984.* — University of Plovdiv "Paisii Hilendarski" pp. 1–380.
- KÖRLIN, G., WEISGERBER, G. eds. 2006: Stone Age - Mining Age. — *Proceedings of the IIIth International Flint Symposium, September 13–17 1999, Bochum.* (=Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbaumuseum Bochum 148; *Der Anschnitt*, Beiheft 19.
- LECH, J. (ed.) 1995: Catalogue of flint mines. — *Archaeologia Polona* 33, 590 p..
- MÉSZÁROS, GY., VÉRTES, L. 1955: A paint mine from the Early Upper Palaeolithic age near Lovas (Hungary, county Veszprém). — *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 5, pp. 5–34.
- MIHALIK, J. 1896: Abauj-Torna vármegye őstörténete. — In: SZIKLAY, J., BOROVSKY, S.: *Magyarország vármegyéi és városai I. Abauj-Torna vármegye és Kassa.* Budapest, pp. 463–473.
- MIHALIK, J. 1897: A boldogkőváraíjai neolitikori telepek. — *Archaeológiai Közlemények* 50, pp. 5–39.
- RAPP, G. 2009: Archaeomineralogy. — In: *Natural Science in Archaeology.* Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 348 p.
- RINGER, Á. 2003: Őskőkori kovabányászat és kovakő-feldolgozás a miskolci Avason. — *Herman Ottó Múzeum Évkönyve* 42, pp. 5–16.
- RINGER, Á., SZAKÁLL, S. 2005: Paleolithic stone raw material mining and processing on the Avas Hill of Miskolc. — *Praehistoria*. 4/5, pp. 5–6.
- RINGER, Á., SZAKÁLL, S. 2007: Paleolithic Flint Mining on the Avas Hill = Őskőkori kovabányák a miskolci Avason. — In: *microCAD 2007 International Scientific Conference 22-23 March 2007. A szekció : Környezetbarát és minőségi nyersanyagtermelés Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológiai Transzfer Centrum, pp. 89–93.*
- SCHRÉTER, Z. 1916: Néhány adat a Bordsod-Hevesi Bükk hegység ösrégészetéhez. *Barlangkutató* 4, pp. 86–88.
- SIKLÓSI, ZS. 2004: Prestige goods in the Neolithic of the Carpathian Basin. — *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 55, pp. 1–62.
- SIMÁN, K. 1979: Kovabánya az Avason. — *A Herman Ottó Múzeum Évkönyve* 18, pp. 87–102.
- SIMÁN, K. 1986: Limnic quartzite mines in Northeast Hungary. — T. BIRÓ, K. (ed.): *Őskori kovabányászat és kőszköz-nyersanyag azonosítás a Kárpát medencében / International conference on prehistoric flint mining and lithic raw material identification in the Carpathian Basin, Sümeg 1986* (1) Budapest, pp. 95–100.
- SIMÁN, K. 1995a: H 1 Miskolc, Avas-hill. — In: LECH, J. (ed.): *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 371–382.
- SIMÁN, K. 1995b: The Korlát-Ravaszyuktető workshop site in North Eastern Hungary (H4). — In: LECH, J. ed.: *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, 41–58.
- T. BIRÓ, K. 1986: The Szentgál workshop complex (Preliminary report). — T. BIRÓ, K. (ed.): *Őskori kovabányászat és kőszköz-nyersanyag azonosítás a Kárpát medencében / International conference on prehistoric flint mining and lithic raw material identification in the Carpathian Basin, Sümeg 1986* (1) Budapest, 101–106.
- T. BIRÓ, K. (ed.) 1986: *Őskori kovabányászat és kőszköz-nyersanyag azonosítás a Kárpát medencében / International conference on prehistoric flint mining and lithic raw material identification in the Carpathian Basin, Sümeg 1986* (1) Budapest, 342 p.
- T. BIRÓ, K. (ed.) 1987: *Őskori kovabányászat és kőszköz-nyersanyag azonosítás a Kárpát medencében / International conference on prehistoric flint mining and lithic raw material identification in the Carpathian Basin, Sümeg 1986* (2). Budapest 1-284.
- T. BIRÓ, K. 1995: H 8 Szentgál-Tűzköveshegy, Veszprém county. — In: LECH, J. ed.: *Catalogue of flint mines: Hungary. Archaeologia Polona* 33, pp. 403–407.
- T. BIRÓ, K. 2002: New data on the utilisation of Buda hornstone in the Early Bronze Age. — *Budapest Régiségei* 36, pp. 131–143.
- T. BIRÓ, K. 2003: Tevel flint: a special constituent of the Central European LBC lithic inventories. — In: BURNEZ-LANOTTE, P. (ed.): *Production and Management of Lithic Materials in the European Linearbandkeramik. UISPP Liege, Colloque 9.3 BAR - IS* 1200, pp. 11–17.
- T. BIRÓ, K., DOBOSI V. 2002: Prehistoric and classical stone quarries ("mines") in the Carpathian Basin. — In: JEREM, E., BIRÓ, K. T. (eds): *Archaeometry 98. Proceedings of the 31<sup>st</sup> Symposium, Budapest, April 26 – May 3. BAR – IS. Vol. II* 1043/2, pp. 819–823.
- T. BIRÓ, K., PÉTERDI B. 2011: Domoszló-Pipis: őrlőkő és malomkő készítő műhely a Mátrában / Domoszló-Pipis: exploitation site and workshop for the production of quernstones and millstones in the Mátra Mts. — In: TÓTH E. szerk. *Kovács-Festschrift, Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest*, pp. 523–534.
- T. BIRÓ, K., REGENYE, J. 1991: Prehistoric workshop and exploitation site at Szentgál-Tűzköveshegy. — *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 43, pp. 337–375.
- T. BIRÓ, K., REGENYE, J. 2003: Exploitation Regions and Workshop Complexes in the Bakony Mountains, Hungary. — In: STÖLLNER, TH., KÖRLIN, G. STEFFENS, G., CIERNY, J. (eds): *Man and Mining – Mensch und Bergbau.* — *Anschnitt*, Bochum 16, pp. 55–64.
- T. BIRÓ, K., SZAKMÁNY, GY., SCHLÉDER, ZS. 2001: Neolithic Phonolite mine and workshop complex in Hungary. — *Slovak Geological Magazine* 7 (4), pp. 345–350.
- T. BIRÓ, K., SCHLÉDER ZS., ANTONI J., SZAKMÁNY Gy. 2003: Petroarchaeological studies on polished stone artifacts from Baranya county, Hungary II. Zengővárkony: notes on the production, use and circulation of polished stone tools. — *A Janus Pannonius Múzeum Évkönyve* 46/47, pp. 37–76.
- T. BIRÓ, K., REGENYE, J., PUSZTA S., THAMÓNÉ BOZSÓ E. 2010: Előzetes jelentés a nagytevel-tevel hegyi kovabánya ásatásának eredményeiről. — *Archaeológiai Értesítő* 135, pp. 5–25.
- VERMEERSCH, M. P., PAULISSEN, E. 1997: Extensive middle paleolithic extraction in the Quenna area (Egypt). — In: SCHILD, R., SULGOSTOWSKA, S. (eds): *Man and Flint*. pp. 133–143.
- VÉRTES, L. 1964: Eine prähistorische Silexgrube am Mogyorósdomb bei Sümeg. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 16, pp. 187–215.
- VÉRTES, L. 1969: *Őskori bányák Veszprém megyében.* — Veszprém Megyei Múzeumi Igazgatóság, Veszprém, 59 p.
- VISY Z., NAGY M., B. KISS Zs. (eds) 2003: *Magyar Régészet az ezredfordulón / Hungarian Archaeology at the turn of the Millennium.* — Budapest, 471 p.
- WEISGERBER, G. (ed.) 1980: *5000 Jahre Feuersteinbergbau.* — Deutschen Bergbau-Museum, Bochum 670 p.



## The Spanish and Latin American professional relations of the Mining Academy of Selmezbánya (Academia Montanistica, Bergakademie)

*A Selmezbányai Bányászati Akadémia (Academia Montanistica, Bergakademie)  
spanyol és latin-amerikai szakmai kapcsolatai*

ANIKÓ BORBÉLY

University of Pécs, Faculty of Science, Geographical Institute, 7624 Pécs, Ifjúság u. 6.  
e-mail: borbelyani@yahoo.com.mx

---

**Keywords:** amalgamation, Ignác Born (Ignatz von Born), Mining Academy of Selmezbánya, Societät der Bergbaukunde, Skleno, Fausto de Elhuyar, Andrés Manuel del Río, Real Seminario de Minería de México

### Abstract

In the second part of the 18th century one of the most important scientific results of the Academy was the amalgamation method after Ignác Born, which had a large influence to the silver mining industry in Europe. With this new method and its scientific and professional demonstration in Skleno started the relations between the Academy and Latin America and Spain, because the adaptation of the Born-method seemed to be beneficial for the Hispanics, for the Spanish Crown. The European knowledge and scientific results, through the Spanish colonial system, got to Spanish-America too, where – falling to a fruitful soil – these contributed to the scientific and technological development, gave a sample for the education of the engineering sciences and advanced the development of the technologies in the mining industry. This processes involved the spreading and widening of the scientific effect of Selmezbánya and the other European scientific centres and the appearance of this effect in a different continent. Some of the experts, who were graduated at the Academy, got to Mexico and Brazil, where their works strengthened the prestige and reputation of the Academy. This way we can already speak about Ibero-American effect too, where not just the relation-network were growing in space, but besides the mining-, metallurgical- and technology-history, the education-historical, the scientific- and culture-historical relations became more important as well.

**Tárgyszavak:** amalgamáció, Born Ignác (Ignatz von Born), Selmezbányai Bányászati Akadémia, Societät der Bergbaukunde, Szklenófürdő, Fausto de Elhuyar, Andrés Manuel del Río, Real Seminario de Minería de México

### Kivonat

A Born Ignác-féle amalgamációs eljárás az Akadémiához kapcsolható tudományos eredmények egyik kiemelkedő példája a 18. század második felében, ami jelentős hatással volt az európai ezüstművelésre. Az új módszer, ill. annak szklenófürdői tudományos-szakmai bemutatója indította el a selmezi Akadémia spanyol és latin-amerikai kapcsolatait, hiszen a hispanok számára úgy tűnt, hogy a Born-módszer a spanyol Korona számára is hasznos lehet. A kezdetben érdeklődéssel, érdekorientált kapcsolatból pedig egy tudományos-szakmai párbeszéd indult el. Az európai ismeretek és tudományos eredmények a spanyol gyarmati rendszer közvetítésével eljutottak Spanyol-Amerikába, ahol termékeny talajra hullva hozzájárultak az ottani tudományos-és műszaki haladáshoz, mintát jelentettek a mérnöki tudományok oktatásának, segítették a bányaművelés gyakorlati fejlesztését. Ez a folyamat hozta magával Selmezbánya és más európai centrumok szellemi kisugárzásának, tudományos hatásának kitágulását, kiszélesedését, másik földrészen való megjelenését. Az Akadémián végzett szakemberek közül néhányan, nemcsak a mai Mexikóba, hanem a portugál nyelvű Brazíliába is eljutottak, ahol szakmai munkájuk tovább erősítette az akadémia presztízst, pozitív hírnevét. Így már ibero-amerikai hatásról beszélhetünk, ahol a kapcsolati háló idővel nemcsak földrajzilag, térbelileg növekedett, hanem a bányászati-kohászati- és technikatörténeti területeken kívül kialakuló oktatástörténeti, tudomány-és kultúrtörténeti kapcsolatok is jelentőssé váltak.

## Introduction

Mining has an impressive history in our country, which was one of the main rare metal producers of Europe for centuries. The centres of silver mining were Selmecebánya and, in Transylvania, Radna. The name of Selmecebánya has been inseparable from mining, having been a mining town since its foundation. The whole life, society and economy of the town were determined by the mining industry. The industrial revolution of the 18th century was conducive to the further development of the Hungarian mining and metallurgy, which was able to keep up with the first wave of this revolution. However, throughout the centuries, this industry was becoming more and more complicated. Together with the technical progress of the 18th century and the development of the natural sciences (mineralogy, geology, physics and chemistry), it required the scientific education of mining. It became obvious that, using the methods that had not been changed for centuries, neither mining, nor metallurgy could be made profitable. Moreover, the Habsburg Empire was in lack of specialists in these fields, so there was a big need for well-qualified mining engineers, with an up-to-date knowledge in exploitation (ZSÁMBOKI 1999). These reasons led to the founding of the Selmecebánya School of Mining and Metallurgy (Bergschule or Berg-Schola in German) in 1735. Later, the school was promoted to the rank of Academy, so it can be considered the predecessor of the Academy of Selmecebánya (Academia Montanistica, Bergakademie). The Academy increased even more the importance of the town as the cradle of the Hungarian technical higher education, the instruction of mining engineers and the scientific research of chemistry. Selmecebánya was not just a mining town anymore, but a scientific and intellectual centre as well. *So, the significant practical-professional history, the leading role in the European mining, the exceptional character of the terrain and the richness in minerals justified the foundation of the first mining school of the Habsburg Empire in Selmec, on the territory of the Hungarian Kingdom.*

Born Ignác (Ignatz Edler von Born) (1742–1791), was a renowned mineralogist and mining specialist, who became world-famous thanks to his amalgamation method. Hungarian authors consider him one of the important figures of the scientific history of the country, and Born himself mentioned his Hungarian roots many times. Due to his exceptional talent, he was certainly one of the most significant polyhistorians of his age, whose activity was beneficial for several countries. From 1769, he lived for years in the mining regions of Hungary, and he also made a professional tour of the country. He was raised to the Hungarian nobility as an acknowledgement of his work. On his trips to Transylvania he usually made a stop at Selmecebánya too. The second half of the 18th century was the golden age of the Academy, which was one of the most significant mining education institutes of not only the Habsburg Empire, but of Europe as well. Born followed the development of the natural sciences with attention,

including the modern laboratory of chemistry and metallurgy in Selmecebánya, which became world famous under the direction of Ruprecht Antal (Anton von Ruprecht) (LACZA 2002.). Born began his amalgamation experiments in 1784, in Vienna, in his laboratory converted from the rooms of the pharmacy rented from Franz Xaver Bonsaing. The idea of the method originated in the ancient times but it was known in the Middle ages as well. *Born changed the technique of amalgamation, further is developing the procedure, which had a lot of advantages* (LACZA 2002). This aroused the interest of the specialists throughout Europe, being an event that even the Spanish scientists could not ignore. Their interest was accentuated by the fact that amalgamation had been applied on the colonies of the Spanish crown, in today's Latin America, for centuries. Born was acquainted with the Spanish method of amalgamation, he read the works of *Alonso Barba* and other authors. After studying the specialist literature, he decided to modernize the method of amalgamation and to adjust it to the Central European conditions (LACZA 2002), because his idea was to use the American method, with its advantages, in Europe, too.

The "meeting of the two worlds", the discovery of America in 1492, was one of the most important events in the history of the modern world. (ANDERLE 1998). The Spaniards were driven by the hunger for rare metals from the beginning (WITTMAN 1978). The traditional metallurgical techniques, like the melting method, could not be profitable, because the silver quarries were in areas where wood and coal, the fuels used for melting ores, were either scarce commodity or disappeared due to the excessive consumption. Moreover, the method they used was unstable and not very efficient, The method of amalgamation solved these problems and revolutionised the mining technique of the colonies (LACZA 2002, PRÓDER 1986). *The monk Bartolomé de Medina (around 1497–1585) was the first to use mercury to extract silver, in Mexico, around the year 1557.* The invention of the new method, the American (or Spanish) amalgamation and the first practical experiments took place at an estate, or rather in the court of an estate, the Hacienda de la Purísima. The technique became known as "patio amalgamation" or as the "de patio" method. Alvaro Alonso Barba (1569–1662) was the first who summarized the instructions about amalgamation in his work published in 1640 (*El arte de los metales*). He described the steps of the method and gathered all the knowledge of the time about the American mining. What's more, he invented a method himself, the so-called Cazo-amalgamation, which was the third of the important rare metal extracting methods on the Spanish–American colonies. It should be emphasized that the Spanish Crown, besides experimenting in America to improve the amalgamation method used there, considered it important to know the European results, including the Selmec-connected Born-method, and treated to use these results in Spain and in America. Born created his method, known as European amalgamation, based on and improving the American method. The news of the new invention spread

throughout the continent. When Emperor Joseph II stopped the news blackout, the diplomats in Vienna, one after the other, requested permission for the leading metallurgy and mining scientists of their countries to study the new method on the spot (LACZA 2002). The Spanish were, in the hope for economical profit, obviously interested in getting to know the new method. Besides, the Spanish scientific life was in an upswing in the second half of the 18th century. These two facts contributed to the cooperation of the Academy and the Spanish institutes. The preparations for the (semi-)large scale demonstration of the Born-amalgamation (Szklenó-fürdő-Skleno 1786) and the practical specification of the new method were made by the excellent specialists and teachers of the Academy. (KRISZTIÁN 1987, ZSÁMBOKI 1999, LACZA 2002) The technical society founded during the conference was a scene of scientific relations and made the acquiring of new information and knowledge possible. The scientists and visitors of the official presentation didn't arrive at the same time and the length of their stay in Hungary also varied from person to person.

### **The Societat der Bergbaukunde, the forum of scientific relations**

Besides discussing amalgamation, the scientist present at the conference in Skleno also talked about the current issues of their fields of interest. They agreed that meetings like that could make new explorations and inventions known everywhere. Therefore, they decided to establish an international scientific society of mining that could unite the scientists working in mining and metallurgy (LACZA 2002). This led to the foundation of the Societat der Bergbaukunde (La Société de l'art de l'exploitation de mines) in 1786. The founders declared that they did not want to deal with the economical and political issues connected to mining and metallurgy. The society published two annals titled Bergbaukunde in 1789 and 1790. The bulletin reproduced the scientific and literary activity of the members of the society and offered a possibility to write articles and to express opinions. After 1790, the activity of the society became random and it soon stopped. However, during its short existence as the first international scientific society of mining, it offered the possibility of cooperation in the field of mining and metallurgy for the first time in the world, and it made the exchange of information faster. Its other important result was the scientific relationship between the Academy and Spain. Born's amalgamation, based on the Spanish (or American) method, improved the technique and had several economic benefits. The Spaniards wanted, first of all, information about the new method, in order to make the exploitation of the Spanish and American mines more efficient, in the hope of the profit. The new method connected to the Academy in Selmeceb seemed to be something that could serve the interest of the Spanish Crown. This process resulted in the increase of the intellectual and scientific influence of Selmecebánya and other European centres.

From the end of the 18th century, there were attempts to use the European method on the colonies. However, they did not grant lasting success for several reasons, like the unwillingness of the officials to apply new methods and the lack of specialists and of a suitable technical background. These reasons were the impediment of a real, lasting use of the method. It also has to be mentioned the significant difference between the composition of American and European ores. Moreover, there was not enough money for the new investments (LACZA 2002.). The Societat der Bergbaukunde, in cooperation between several countries, enabled the scientific dialogue of the participants. It made possible the sharing of the results and ideas between Europe, Spain and Spanish-America and the creation of scientific relations in mining and metallurgy between the two regions. This forum emphasized the scientific-professional side of international relations, and the participation of the Spanish and Spanish-American specialists increased the scientific reputation of the Academy.

### **Specialists from Selmeceb in Latin America**

The Spanish Crown needed qualified workers to introduce in practice the European amalgamation, which meant the employment of a few European mining engineers on the colonies, among them the former students of the Academy of Selmecebánya. One of the leaders of this scientific recruiting and one of the most important figures of the scientific relations was the excellent Spanish chemist, Fausto de Elhuyar (1755–1833), who visited Hungary on his second tour of Europe between 1786 and 1788 to study Born's method of amalgamation. He also visited, among other places, the mining regions of Saxony, Prussia and Austria. His task was also to gather information about the mines, the organization of the work, the mining administration and education and the recruiting of workers—a young, highly-qualified team of specialists for the colonies (ESCAMILLA 2004). According to the plans of the Spanish Crown, the miners and metallurgists recruited by Elhuyar in Central Europe were employed to direct the exploitation of the metals and the introduction of the technical-technological improvements and of the Born-method, for the benefit of the Crown.

The recruited specialists worked in three main groups in America (at least in the beginning): in the Viceroyalty of New Granada (today's Colombia), in the Viceroyalty of Peru (today's Peru) and in the Viceroyalty of New Spain (today's Mexico). In other words, a contingent of specialists was settled in each of these regions, led by an appointed professional leader. They took part in the local mining activities, in technical developing or in scientific research to different degrees, depending of the conditions of the given region. This was made possible by the motherland, the colonial territorial structure, the strict control over mining and coinage, the sensitivity to novelty of the Spanish Crown

and a few faithful officials, their scientific work and the need for profit. Although Spanish America and Spain realised the need to apply a technical invention from another continent and to employ the necessary qualified workers, who assumed the risk of settling in a foreign country, the lack of money and the social, political and historical environment hindered the process. As a result, the new method could not be applied in its original version in any of the colonies. Furthermore, Spain had not considered the probable costs and difficulties and had made no satisfactory preparations and surveys. The historical changes in Spain, the weakening of the situation of the motherland did not help the reforms either. On the other hand, the specialists who participated in the relation network that took shape thanks to Born's method of amalgamation formed a system of scientific relations that lasted for decades and included the different kinds of migration, different fields of study and different types of knowledge. This system of relations, in my opinion, can be examined on its own in the (specialist) literature dealing with the interactions between the two continents.

The most numerous group arrived at the port of Veracruz (now part of Mexico) in 1788 led by Fausto Elhuyar. According to Elhuyar the three most exceptional of the hired people were mineralogist Frederico Sonneschmidt (Friedrich Traugott Sonneschmidt), Francisco Fischer and Luis Fernando Lindner. Both Fischer and Lindner attended the Academy; moreover, Lindner was born in Hungary. The other employees were additional manpower; their expertise was not so exceptional (ESCAMILLA 2004). When they arrived they travelled to the capital city, where they parted company and got function in different mines. The Germans and Central European technicians selected and settled by Fausto Elhuyar had a positive attitude towards the mining developments and modernizing experiments at the end of the 18th century. They had some success in certain working processes and in the ventilation of the stinky mines, but they could not make lasting improvements in the efficiency of metal exploitation, the results Elhuyar expected and hoped for. However, their learning and knowledge enhanced the fame of the Academy of Selmecbánya.

The professional influence of the institute could be felt in Brazil as well, though to a lesser *extent*. The South American country occupied an important place in the relational network since it extended the relations of the Academy with the region from a geographical point of view as well. European miners migrated to South America as well, and the migration was focused on the region with the biggest exploitation, which was in the greatest need for workpower. *János Károly Hocheder* was one of the engineers who worked in Brazil as a former student of Selmec. The opening up and exploitation of the ore mining regions of Gongo Socco and Morro-das-Almas in the state of Minas Gerais is connected to his name. He was the director of an English mining company, the Imperial Brazilian Mining Association. As a result of his exceptional work, six more mining engineers and thirty-five miners were brought to these mines in Minas Gerais around 1836

from Central Europe (FALLER 1871, TORBÁGYI 2004). The new scientific achievement of the end of the 18th century and the need of its practical application started a kind of career migration of professional quality, which already had professional characteristics and conditions in the 18th century. In Brazil, this migration was most intensive in the 19th century. Brazil had become a politically independent country by then and the workers arrived as the employees of companies, most of which were run with English money. Their employment and settling was enabled by the fame of the Academy and the news of the recruiting from Central Europe of the Spanish Crown.

### **The Real Seminario de Minería, the mining college of Mexico**

The lack of qualified employees was a significant impediment of the developments in New Spain as well. The solution chosen to the problem was education, the foundation of the Mexican Real Seminario de Minería, the college of mining, in 1792. The Academy in Selmec was an institute with a really progressive mentality, where witty machines were created and applied, progressive scientifically based knowledge was taught, and practical education was preferred (ZSÁMBOKI 1999). The chemistry laboratory of the institute was definitely world famous. The first non-religious educational institute of the Habsburg Empire, it was an intellectual- scientific- educational centre that was exemplary in its age, a model not only in Europe, but in Spanish America as well, a fact shown by the history of the Mexican mining college, too. The intellectual influence of the Academy, strengthened by the presence in Selmec of scientists from Hispania, brought along the appearance of its results on another continent. This was a great success in the history of Hungarian education and a nice example of the Hungaro–Mexican relations, something which is worth remembering.

The Real Seminario was a school deliberately based on European examples. It followed the methods and ideas seen in Selmec and other European academies (WITTMAN 1978). The school employed an outstanding staff from the beginning. Most of the teachers arrived from the motherland and they were excellent, experienced scientists and specialists. Andrés Manuel del Río (1764–1849) was the teacher who taught at the Seminar for the longest time. He was an exceptional natural scientist and mineralogist, who also had experiences from Selmec and from Hungary, being the disciple of Ruprecht, the first Hungarian born teacher of the Selmec Academy. We can also mention Fausto Elhuyar, who taught as a substitute teacher at the college in 1797, substituting the chemistry teacher Luis Fernando Lindner, the specialist who graduated from the Selmec Academy. In the Real Seminar, Lindner set up the first chemical laboratory of Spanish America (ESCAMILLA 2004).

It is important to emphasize that the influence of Selmecbánya came together with the influence of other

European institutes, which are also connected to the Mexican Seminar and to the Latin American history of mining. This happened during the last years of the Spanish rule, but the presence of the Real Seminar, the processes started, the new way of thinking catalysed the appearance and institutionalisation of several new branches of knowledge. This means that the first mining school of our country had a positive role in the history of both the European and, through the Mexican institute, of the American education.

As a conclusion, we can say that the Hungarian mining academy, due to the Born-method, had extensive and valuable Latin American relations and it significantly influenced the history of mining and technical development of the region, especially in the Spanish speaking countries, but in Brazil as well. In the 16th century the Spaniards, through the practical experience gathered during the exploitation, acquired an advanced knowledge in mining and mineralogy (CSERNA 1990). This knowledge was based on the mining methods of the developed civilisations found in America at the time of the conquista. The Spanish expeditions found, especially in Mexico and Peru, developed Indian civilisations that were very skilful and experienced in the working of metals (copper, gold, silver). Based on these techniques, the Spanish started the exploitation of valuable metals before Portuguese America. They could first extract a bigger volume of silver with the "patio method", a method developed by the Spanish on the colonies in the 16th century. In Europe, the Central European mines had been important centres of metal extraction and the development of the technologies connected to it since the beginning of the modern age (SANCHEZ 1995). The main developments in metallurgy were concentrated in this region (Saxony, Bohemia and Hungary). This priority was so evident and undisputable, that, in spite of her colonial mining history and its results, Spain began to strengthen her relationships with this region from the beginning of the 1780s, to further develop the discipline. The hope of economic benefit resulting from the adaptation of Born's amalgamation method was an important factor in the building of these relationships.

So, the essence of the direct relations was a result of the new European method, Spain's willingness to become acquainted with it, its professional presentation and the

scientific congress organised around it, and the attempts to adapt this method on the colonies. So, the first, direct stage of the relations involved Spain and Spanish America. These relationships were mainly based on mining and metallurgy and originated from the natural sciences. They ended at the beginning of the 1790s, with the end of the Bergbaukunde, when it became obvious that that the European amalgamation could not be applied directly, without changes and long preparations. The attempt of using the new method fitted in the Bourbons' plans to modernize the colonies, in the developments made in the last years of the last years of the colonisation period and in the general scientific progress of the age, thus making the influence of Selmecebánya more significant.

This way, one of Europe's oldest mining schools could play an important role in the history of education, sciences and culture as well. This influence is shown by the establishing of the Real Seminario de Minería, which was deliberately organised based on European models. Thanks to the educational activity of its teachers, the seminar made Mexico City an important translating and publishing centre of works concerning chemistry and mineralogy of great scientific importance of the period. Of all the colonies, it was Mexico where the influence of Selmecebánya was the strongest- it was where the new European approaches could prosper, thanks to the European, often Spanish experts sent by the Crown.

The indirect relations further broadened the influence of the Academy. These relations started around the end of the first, direct stage, though there are some overlapping in time, content and space. The professional effects were not only connected to amalgamation and metallurgy, but, more generally and more strongly, to the history of mining industry and to technical, scientific and cultural history. These areas take the primary role in the indirect relations. However, I consider the translations and editing in other publications of the works about amalgamation as part of the indirect relations, too. *After the failure of the European amalgamation in America, other scientific and cultural influences became viable in the New World.* Although the language of communications and the network of contacts was the German and the Academy of Selmeceb functioned according to control of Habsburg Empire even so the professional relationships could display Hungary too in the history of Latin American techniques and mining.

## References — Irodalom

- ANDERLE, Á. 1998: History of Latin America. — Pannonica Kiadó, Budapest, 182 p.
- CSERNA DE GÖMBÖS, Z. 1990: The evolution of the geology in Mexico ~1500–1929. — *Revista Mexicana de ciencias geológicas. UNAM, Instituto Geología*, 9, (1), pp. 1–
- ESCAMILIA GONZÁLEZ, F. O. 2004: Luis Fernando Lindner (Schemnitz, ca. 1763 – México, 1805): catedrático de química y metalurgia del Real Seminario de México. — *Jahrbuch für Geschichte Lateinamerikas* 41, pp. 167–198. Böhlau Verlag, Köln.
- FALLER, G. 1871: A selmeczi m. k. bányász- és erdész-akadémia évszázados fennállásának emlékkönyve 1770–1870. — Selmeceb: Joerges., 351 p.
- KRISZTIÁN, B. 1987: The life and work of Ignác Born. — In: *Válogatás a Magyarok szerepe a világ természettudományos és műszaki*

- haladásában című konferencia előadásaiból. Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár, Budapest, pp. 182–191.*
- LACZA, T. 2002: The amalgamation method after Ignác Born. — *Magyar Kémikusok Lapja* 57 (1–2), pp. 46–53.
- PRÓDER, I. 1986: The amalgamation method after Ignác Born. — *Magyar Kémikusok Lapja* 41 (4), pp. 134–140.
- SÁNCHEZ, P. A. 1995: Technical models in lead mining of Andalusia during the century XIX. — *Revista de Historia Industrial, Universidad de Almería* (7), pp. 11–37.
- TORBÁGYI, P. 2004: Hungarians in Latin America. — *A Magyar Nyelv és Kultúra Nemzetközi Társasága*, pp. 33–35, 249–250.
- WITTMAN, T. 1978: History of Latin America. — Gondolat Kiadó, Budapest, pp. 57, 68, 98–101.
- ZSÁMBOKI, L. 1999: *Started about Selmec (1735–1949)*. — Miskolci Egyetem, Miskolc, 326 p.
- ZSÁMBOKI, L. 1999: Fifty years in Miskolc. — *Chapters of the History of University of Miskolc*. Miskolc, pp. 8–12.

# Influence of the hydrogeological environment on groundwater flow system chemistry in the Pannonian and San Luis Potosí Basins

*A hidrogeológiai környezet hatása a felszín alatti vizek kémiájára a Pannon-medencében és a San Luis Potosí-medencében*

J. JOEL CARRILLO-RIVERA<sup>1</sup>, IRÉN VARSÁNYI<sup>2</sup>, LAJOS Ó. KOVÁCS<sup>3</sup>, ANTONIO CARDONA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geografía, UNAM, CU, Coyoacán, 04510, Mexico DF.

<sup>2</sup>Department of Mineralogy, Geochemistry and Petrology, University of Szeged, H-6701 Szeged, PO Box 651, Hungary.

<sup>3</sup>Hungarian Office for Mining and Geology, H-1590 Budapest, PO Box 95, Hungary.

<sup>4</sup>Ciencias de La Tierra, Facultad de Ingeniería, UASLP, Av. Manuel Nava No. 8, Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, SLP, México, e-mail: joeljcr@igg.unam.mx

Keywords: hydrogeology, San Luis Potosí Basin, Mexico, Pannonian Basin, Hungary

## Abstract

Impact of the hydrogeological environment on groundwater chemistry was studied in two diverse study areas: one is the volcanic San Luis Potosí Basin (SLPB) in Mexico, the other is a part of the sedimentary Pannonian Basin (PB) in central Hungary. Detailed chemical and isotopic analyses of groundwater samples were performed. Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> concentrations were used as indicators of the vertical component of groundwater flow, whereas changes in Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Na<sup>+</sup> concentrations served as indicators of lateral flow. Differences in lithology, groundwater age and flow patterns explain the differences in water chemistry. In the SLPB, communication among flow systems located at different depths, while in the PB, ion exchange along the lateral flow path is the dominant process determining water chemistry.

Tárgyszavak: hidrogeológia, Potosí-medence, Mexikó, Pannon-medence, Magyarország

## Kivonat

A hidrogeológiai környezet vízkémiára gyakorolt hatását két eltérő környezetben tanulmányoztuk: az egyik a mexikói San Luis Potosí-medence, a másik a Pannon-medence egy részmedencéje Magyarországon, az Alföld déli részén. Mindkét terület vízmintáiban részletes kémiai és izotópvizsgálatokat végeztünk. A Na<sup>+</sup> és Cl<sup>-</sup> vízben mért koncentrációja alapján a vízfolyás vertikális, a Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> és Na<sup>+</sup> alapján a laterális komponensére következtettünk. A vizek kémiai összetételében mutatkozó különbségeket visszavezettük a litológiai eltérésekre, valamint a vízköz és a vízfolyási sajátosságok különbözőségére. A San Luis Potosí-medencében a különböző mélységben elhelyezkedő vízfolyási rendszerek kommunikációja, míg a Pannon-medence tanulmányozott régiójában a laterális vízmozgás során bekövetkezett ioncsere határozza meg döntően a víz kémiai összetételét.

## Introduction

Chemical composition of groundwater is controlled by different factors as evaporation, dissolution-precipitation, weathering of existing minerals, oxidation-reduction, sorption and exchange reactions, transformation of organic matter, and mixing processes. In contrasting geological environments the relative importance of these factors varies according to flow scale dimensions and geological setting (CARRILLO-RIVERA et al. 2007). Geochemistry of groundwater is often used to investigate its origin, time and location

of recharge, as well as the water flow direction (KHARAKA, CAROTHERS 1986, LAMBERT 1991, CHAUDHURI et al. 1992, VARSÁNYI et al. 1999, CARRILLO-RIVERA et al. 2002). To determine the impact of the hydrogeological environment on groundwater chemistry, two well-documented study regions with different geological framework were chosen. One is volcanic in nature, the San Luis Potosí Basin (SLPB), Mexico; the other is a sedimentary environment in central Hungary, the Pannonian Basin (PB).

The chemical evolution along the flow path (TÓTH 2000) was comparatively established for flows of different

hierarchy with contrasting chemical and temperature features. The definition of each flow system's path may be obtained with assistance from the vertical and horizontal distribution of the hydraulic potential (TÓTH 1995, 2000). However, vertical flow is recognized as a main component of groundwater flow system analysis. This component requires to acknowledge water density distribution where temperature and gas content play an important role. Often, in developing countries as in the studied regions, this information is lacking, so an adequate possibility to define the importance of vertical flow leans on the physical and chemical nature of groundwater.

Flow system analysis may be reached by a joint evaluation of a potentiometric flow net analysis assisted by chemical characteristics, as well as a comparative analysis of soil type, vegetation cover, geomorphological setting, within the prevailing geological framework and basement rock position. Requisites to define flow systems are presented in TÓTH 1995, 2000).

Steady state groundwater flow conditions in the SLPB as described by TÓTH 1995, 2000) permitted to identify three groundwater flow systems according to their hierarchy: local, intermediate and regional, separation achieved through groundwater temperature measured at borehole-head and reported  $\text{Li}^+$ ,  $\text{F}^-$  and  $\text{Na}^+$ , features directly related to residence time. A  $\text{Ca}^{2+}\text{-Cl}^- \text{-HCO}_3^-$  water type moves at shallow depth represents local flows (average temperature  $21.0^\circ\text{C}$ , and low  $\text{Li}^+$   $0.0014\text{ mmol/l}$ ,  $\text{F}^-$   $0.0211\text{ mmol/l}$  and  $\text{Na}^+$   $2.1750\text{ mmol/l}$  content); sewage effluent contaminates the local flow system, so  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Cl}^-$  were used to support the definition of the interference of local flows. A  $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$  type water was associated to the intermediate flow (temperature between  $23$  and  $27^\circ\text{C}$ , and moderate  $\text{Li}^+$   $0.0014\text{ mmol/l}$ ,  $\text{F}^-$   $0.0158\text{ mmol/l}$  and  $\text{Na}^+$   $0.5176\text{ mmol/l}$  concentration, the main chemical processes responsible for its composition are dissolution of carbonate, ion exchange, and incongruent dissolution of sanidine, Ca-montmorillonite, Na-montmorillonite and illite (Cardona & CARRILLO-RIVERA 2006). Regional flow is represented by  $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ , with average temperature of  $36.6^\circ\text{C}$  and high  $\text{Li}^+$   $0.0274\text{ mmol/l}$ ,  $\text{F}^-$   $0.1684\text{ mmol/l}$  and  $\text{Na}^+$   $2.4359\text{ mmol/l}$  content. Groundwater chemistry is controlled by devitrification of the abundant glassy matrix in the volcanic rocks representing water travelling from beyond the surface basin boundary (CARRILLO-RIVERA et al. 1996, CARRILLO-RIVERA et al. 2002). This paper only presents data from boreholes and (shallow) dug-wells tapping an individual flow system at a time.

In the sediments of the PB two main groundwater flow systems have been described: an intermediate flow ( $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$  and  $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$  types), and a regional flow ( $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$  type) (ERDÉLYI 1979; VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS 2001). The main chemical processes controlling groundwater chemistry are transformation of organic matter and feldspar weathering, dissolution of calcite and dolomite, ion exchange (VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS 1997). A satisfactory description of local flow systems is lacking in available literature.

There are specific known chemical controls in the groundwater flow regime of the studied regions that could be related to flow path length and geological characteristics; so, the aim of this paper is to compare processes through the chemical composition of groundwater of flow systems in different geological environments identifying the relationship between the distribution of mineralogy and groundwater flow. This manuscript is a follow up based on previously published work by the authors (CARRILLO-RIVERA 2007), to emphasize the need for an adequately identification of the presence of different groundwater flow systems in any studied flow regime.

## Geological and hydrogeological setting

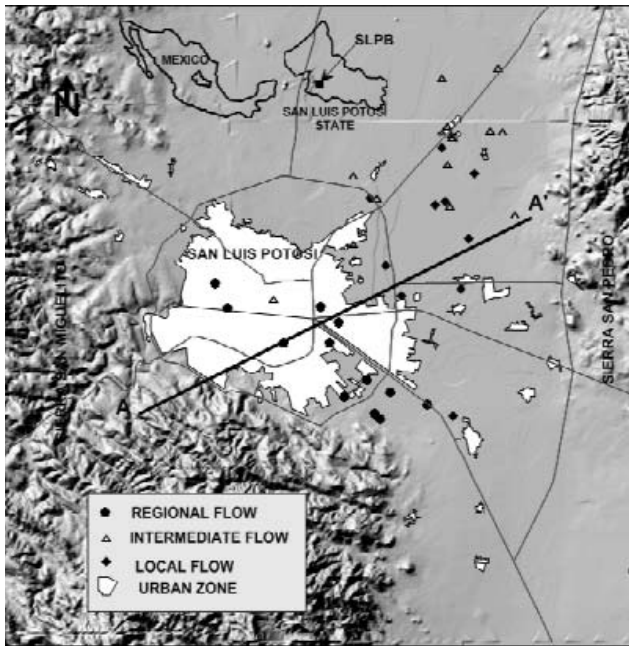
### *San Luis Potosí Basin*

The main geological features of the SLPB are similar to those of a number of surface basins in the Sierra Madre Occidental and Central Alluvial Basins of Mexico (NW Mexico and SW USA), they are characterised by massive Tertiary fractured acid lava flows (BACK et al. 1988). Distensive structures affected these lava flows producing a graben structure with low topographic features containing valleys filled up with debris from surrounding highlands and from volcanic processes. This graben structure resulting of tensional tectonic forces implies no tectonic compression effects, which in turn suggests a lack of groundwater compression driven flow. The PSLB is a  $1,920\text{ km}^2$  closed-basin located on volcanic (aquifer) units that have a surface area of  $400\text{ km}$  by  $1,500\text{ km}$  and a joint thickness of  $2\text{-}3\text{ km}$ . Locally, an average thickness is about  $1,700\text{ m}$  of (fractured) Neogene lava flow, tuff and ignimbrite (Sierra San Miguelito) covering an inferred hydrogeological basement represented by Cretaceous limestone and calcareous mudstone, and a Tertiary quartz-monzonite intrusive in the eastern part of the basin (Sierra San Pedro). Volcanic rocks have an abundant glassy matrix of about  $80\%$  in volume. Geochemical analyses of local lava flows report they are K and F-rich ( $\text{F}\approx 2.651\text{ ppm}$ ) with small topaz crystals partially filling fractures and cavities in the rock (CARDONA 2007).

Several boreholes were used to determine subsurface geologic structure and to provide data for groundwater chemistry interpretation (Figure 1a). Calcareous material resulting from erosion of Cretaceous rocks, located in Sierra San Pedro, is expected to be deposited in the basin fill. These sediments are inter-bedded with pyroclastic material; together referred to as Tertiary Granular Undifferentiated (TGU). Borehole logging and lithology samples indicate the presence of a  $50\text{ m}$  to  $150\text{ m}$  thick layer of fine-grained and compact quartz and sanidine sand (locally called "clay layer") fully enclosed at the TGU centre and found under most of the SLPB plane except at its margin with an extent of about  $300\text{ km}^2$ .

The hydrogeological features of the SLPB and surroundings may be found in CARRILLO-RIVERA 1992) and CARRILLO-RIVERA et al. 1996). The potentiometric





**Figure 1a.** Location and shaded relief map of the San Luis Potosí Basin with the studied boreholes and location of hydrogeological cross section

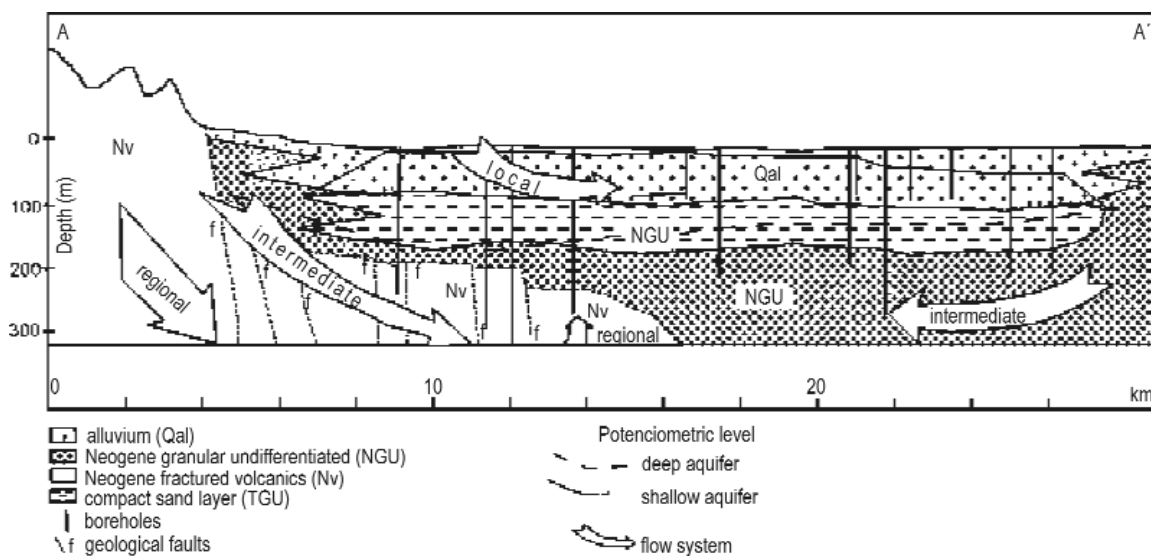
*1a. ábra.* A San Luis Potosí-medence elhelyezkedése és domborzati képe a vizsgált fúrásokkal és a hidrogeológiai szelvény helyével

(horizontal) data shows two cones of depression with hydraulic head differences (to that of unaffected sites in the plane) of 35–25 m, the potentiometric surface is about 1.745 m asl. Boreholes obtain groundwater from both the TGU and the fractured volcanic rock they usually terminate at a depth of 350–450 m in lava flow. Borehole design prevents the entrance of contaminated shallow water to deep water. Chemical data used for the SLPB are referred to the depth of

the borehole and not to a screened interval as boreholes are usually screen from the water-table to their full depth. The identification of recharge areas within the basin and related processes involved are still waiting to be defined.

Boreholes available in the SLPB are now, used for water supply purposes only, making practically impossible to define the groundwater flow direction in the vertical plane, as it has been defined in the PB. However, for the SLPB, an appraisal of the flow domain in a vertical cross-section was adequately inferred using hydrogeological evidence and groundwater flow system basis (TÓTH 2000). Figure 1b sketches intermediate and regional flow systems; both travelling towards withdrawal sites due to the new transient stage of flow. Note, that no regional flow is developed in the Cretaceous rocks due to their impervious nature, characteristic that is evident in chemical water analysis. Natural soil and vegetation cover has been altered as a result of past agricultural practices, so it is improbable to define original recharge and discharge conditions for local flows. The original water-level depth 1940's) in two boreholes 160 and 180 m deep) tapping the intermediate system was about 100 and 92 m, respectively (Galvez et al. 1941) suggesting recharge or transit conditions to prevail, now part of this flow travels towards withdrawal sites for the City of San Luis Potosí water supply ( $\approx 2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Recharge and discharge areas of regional and intermediate systems are to be found away from the SLPB limit.

Identified intermediate and regional groundwater flow systems have experience little significant influenced by development and intensive local extraction directed to the top of the geological sequence; only observed effects are at borehole withdrawal level in terms of water chemistry and temperature change produced by the mixture of flows resulting from upconing of induced regional flow in  $\approx 70\%$  of the total withdrawal.



**Figure 1b.** Cross section in the SLPB, section location in Figure 1a

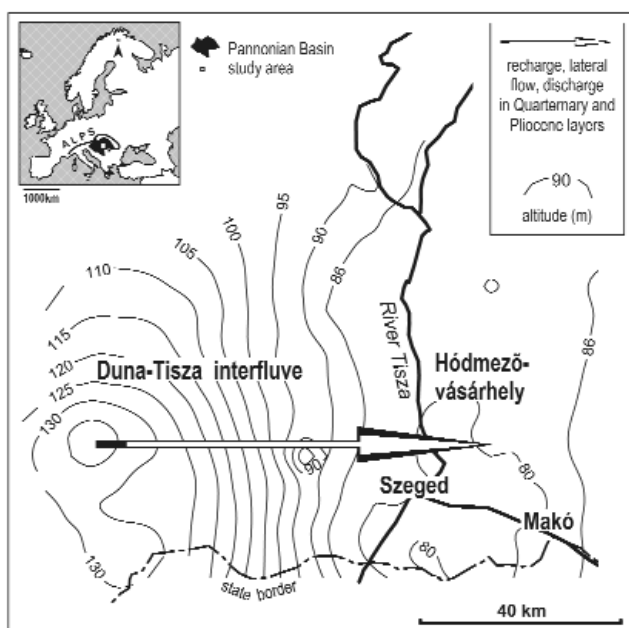
*1b ábra.* Az 1a ábrán jelölt szelvény a San Luis Potosí-medencében

The low hydraulic conductivity  $10^{-9}$  m/s) of the compact sand-layer separates the local flow from the intermediate and regional as defined by the chemical response of shallow dug-wells and deep boreholes relative to the position of this layer. Any downward flow occurring through this layer is expected to have a negligible roll in observed chemistry due to its prevailing quartz and sanidine mineralogy (CARDONA et al. 2008).

Local flow systems have a shallow water-table elevation of 1,800m asl, they travel through alluvium fill below the plane and over the compact sand-layer, producing an unconfined perched aquifer. They are recharged by local rainfall and untreated sewage derived from agricultural return flow; their recharge and discharge areas are bounded within the plane. Other local systems present in the highlands discharge as local seasonal springs. These systems were initially tapped by shallow dug-wells which were the City main water supply up to about 100 years ago. Time at which surface water was captured by the San José and later by El Peaje dams ( $0.2\text{m}^3/\text{s}$ ) constructed within the SLPB to assist in providing the required water to the city located at the plane. The lack of sewage system and existing geomorphology collected sewage water was used for agricultural practices producing contamination of the local flow systems. This contamination may be used as tracer to detect its presence in extracted water from other systems.

### Pannonian Basin

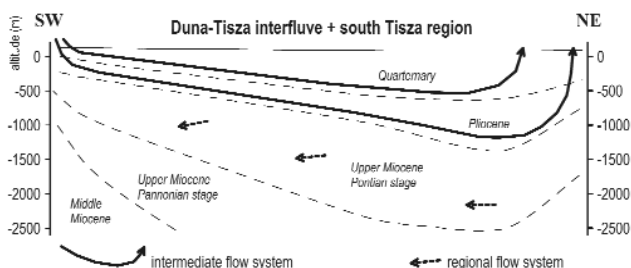
The Pannonian Basin, located in the SE of Hungary (Figure 2a) is a large sedimentary basin filled up with Neogene debris. Palaeo-geomorphological and lithological considerations support a continuous sedimentation to be present since the Miocene. A marine sedimentary sequence



**Figure 2a.** Location of the Pannonian Basin study area.  
*2a ábra.* A Pannon-medence vizsgált területének elhelyezkedése

1,000–3,000m thick) is overlain by 1,000–3,000m of lake sediments; the upper part of the sequence is inter-bedded with Pliocene fluvial sediments (Rónai, 1985). By the end of the Pliocene the PB was uplifted, and the Pleistocene began with fluvial sedimentation in the inner part of the basin. Local scale tectonic events plus climatic evolution determined a cyclic fluvial sedimentation during the Pleistocene. The Danube River deposited its load with a thickness increasing from the Budapest region in the NW to Szeged in the SE. Mineralogical composition of the fluvial sediments includes quartz, feldspar, calcite, dolomite, illite-smectite, muscovite, chlorite. Mineralogically, the deep lacustrine sediments consist of quartz, mica, montmorillonite (mixed illite-smectite layers), calcite, dolomite, Na- and K-feldspars, chlorite and a very small amount of kaolinite (VARSÁNYI 1975, VICZIÁN 1982).

A W–E cross-section following the predominant local dip of the layers is portrayed in Figure 2b. The intermediate



**Figure 2b.** Schematic SW-NE cross section of the PB study area  
*2b ábra.* Sematikus DNy-ÉK-i irányú szelvény a Pannon-medence vizsgált területén

and regional groundwater flow systems have been studied in the PB, but only the intermediate had been described in detail (ERDÉLYI 1979). The regional flow system is found mostly in the deepest studied unit (Pontian) down to the Pannonian/Pontian boundary, and the intermediate one above the regional flow, mostly in Pliocene and Quaternary sediments. From the perspective of water use, the best water quality (low total dissolved solids, TDS) and artesian conditions are found mostly between 200 and 400 m depth in the intermediate flow systems. The potentiometric surface elevation in these units based on boreholes before withdrawal suggests a W to E horizontal groundwater flow (ERDÉLYI 1979). The recharge area for this system is in the Duna-Tisza Interfluvium, and the discharge area is around the Makó-Hódmezővásárhely depression (ERDÉLYI 1979, VARSÁNYI et al. 1999, TÓTH, ALMÁSI 2001).

### Materials and methods

Reported water samples for chemical data by CARRILLO-RIVERA 1992) and CARRILLO-RIVERA et al. 1996) were

collected from local, intermediate and regional flow systems in the SLPB; isotope data ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$ ) were subsequently obtained for selected sites that represent the flow systems. Collected water samples followed procedures reported by CARRILLO-RIVERA et al. 1996) and VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS 1997).

VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS 1997) identified samples from an

intermediate flow system including shallow water in the recharge and discharge areas in the PB. The sampling procedure, sample preservation and methods of analyses are described by CARRILLO-RIVERA et al. 1996) and VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS 1997), and the chemical and isotopic data are given in Tables 1a/b and 2 for the SLPB and the PB, respectively.

**Table 1a.** Chemical composition of groundwater samples from the SLPB study area.

*1a. táblázat. Felszínalatti vizek kémiai összetétele a San Luis Potosí-medencében*

Location	Depth m	Conductivity $\mu\text{S}/\text{cm}$	Si mmol/l	Na mmol/l	pH	K mmol/l	Cl mmol/l	Alkalinity meq/l	Ca mmol/l	Mg mmol/l	Temperature $^{\circ}\text{C}$	$\text{SO}_4$ mmol/l	$\text{NO}_3$ mmol/l	F mmol/l	Li $\mu\text{mol}/\text{l}$
Thermal water - regional flow (Neogenic fractured volcanic)															
regional1	220	438	0.82	2.57	6.97	0.13	0.31	2.69	0.48	0.06	36.8	0.21	0.06	0.19	31.70
regional2	300	370	1.00	2.35	6.97	0.16	0.31	2.30	0.45	0.05	35.0	0.07	0.09	0.16	25.94
regional3	200	390	0.87	2.63	7.08	0.14	0.41	2.89	0.50	0.04	40.4	0.14	0.10	0.18	31.70
regional4	314	350	0.87	2.67	7.12	0.14	0.46	2.69	0.32	0.06	34.2	0.23	0.11	0.18	28.82
regional5	330	420	0.98	2.35	7.23	0.13	0.34	1.92	0.46	0.06	37.0	0.23	0.06	0.16	25.94
regional6	350	435	1.11	1.94	7.21	0.12	0.31	2.59	0.46	0.06	38.5	0.13	0.08	0.16	25.94
regional7	300	450	0.90	2.59	7.1	0.14	0.38	2.69	0.46	0.06	36.0	0.19	0.09	0.18	27.38
regional8	200	370	1.28	2.20	7.1	0.14	0.41	2.66	0.48	n.d.	35.1	0.25	0.04	0.19	0.00
regional9	200	354	0.90	2.24	7.41	0.12	0.34	2.56	0.50	0.02	36.5	0.26	0.11	0.18	0.00
regional10	250	420	1.02	2.22	7.16	0.12	0.51	2.49	0.54	0.04	37.4	0.16	0.07	0.13	24.50
regional11	260	341	0.90	2.20	7.11	0.11	0.34	2.56	0.48	0.02	36.0	0.23	0.04	0.15	0.00
regional12	300	345	1.28	1.92	7.21	0.14	0.39	2.59	0.62	n.d.	33.8	0.22	0.04	0.13	24.50
regional13	n.d.	338	0.95	2.20	7.93	0.12	0.43	2.36	0.48	0.12	34.8	0.22	0.06	0.11	21.61
mean		402	0.98	2.31	7.2	0.13	0.38	2.54	0.48	0.05	36.3	0.20	0.07	0.16	27.38
Cold water - intermediate flow (Neogene Granular Undifferentiated)															
intermediate14	180	150	1.63	0.59	6.64	0.25	0.13	1.62	0.36	0.08	23	0.02	0.08	0.02	1.44
intermediate15	160	100	1.60	0.47	6.52	0.18	0.12	1.15	0.18	0.02	24	0.01	0.01	0.01	1.44
intermediate16	200	144	1.55	0.44	6.53	0.23	0.21	0.95	0.22	0.10	26	0.05	0.05	0.02	1.44
intermediate17	150	175	1.55	0.64	6.57	0.26	0.21	1.21	0.32	0.08	24	0.06	0.10	0.02	1.44
intermediate18	330	132	1.63	0.44	6.55	0.21	0.13	1.02	0.22	0.08	25	0.03	0.09	0.01	1.44
intermediate19	150	210	1.63	0.87	6.54	0.29	0.43	1.72	0.50	0.14	27	0.07	0.09	0.02	1.44
intermediate20	222	250	1.48	0.91	6.64	0.27	0.80	1.52	0.64	0.12	25	0.09	0.08	0.03	1.44
intermediate21	200	295	1.38	0.72	7.39	0.28	0.44	2.20	0.90	0.10	26	0.05	0.07	0.02	1.44
intermediate22	200	230	1.58	0.75	7.08	0.25	0.37	1.72	0.64	0.04	25	0.04	0.06	0.03	1.44
intermediate23	200	255	1.58	0.85	7.17	0.27	0.42	2.11	0.74	0.10	25	0.10	0.00	0.02	2.88
intermediate24	200	301	1.55	0.72	7.25	0.31	0.45	2.23	0.80	0.10	25	0.12	0.05	0.01	1.44
intermediate25	250	220	n.d.	0.63	7.49	0.25	0.19	1.92	0.68	0.08	26	0.01	0.03	0.02	2.88
intermediate26	300	208	1.41	0.40	7.47	0.27	0.14	1.89	0.66	0.08	24	0.01	0.04	0.01	1.44
intermediate27	180	178	1.41	0.40	7.49	0.23	0.10	1.54	0.54	0.04	25	0.02	0.03	0.02	1.44
mean		203	1.53	0.63	6.95	0.25	0.30	1.62	0.53	0.08	25	0.05	0.10	0.02	1.44
Shallow wells - local flow (Alluvium)															
local28	30	510	1.18	1.20	5.94	0.54	1.52	2.69	1.60	0.40	22	0.54	0.30	0.01	0.00
local29	80	590	1.28	1.49	6.14	0.52	2.37	2.49	2.03	0.47	22	0.58	0.41	0.02	1.44
local30	15	1649	0.92	5.21	6.02	0.84	4.56	6.79	4.39	1.13	21	2.45	0.15	0.02	1.44
local31	55	783	1.25	2.44	6.43	0.55	1.41	5.11	2.15	0.45	21	0.72	0.04	0.03	1.44
local32	95	625	1.18	1.40	5.87		1.06	3.13	1.76	0.40	21	0.81	0.37	0.02	0.00
local33	30	531	1.25	1.12	6.15	0.57	1.97	1.54	1.26	0.34	21	0.45	0.19	0.01	1.44
local34	80	1103	1.23	2.80	6.45	0.62	2.73	4.72	2.97	0.65	22	1.00	1.29	0.02	2.88
local35	20	1404	1.03	2.72	6.43	0.93	6.34	3.93	3.71	1.09	21	1.09	0.61	0.02	2.88
local36	20	536	1.18	1.52	6.26	0.51	1.77	1.87	1.16	0.24	21	0.59	0.31	0.02	1.44
local37	25	463	1.06	1.92	6.52	0.40	0.34	2.51	0.70	0.22	20	0.59	0.40	0.03	1.44
mean		820	1.16	2.17	6.22	0.61	2.41	3.48	2.17	0.54	21	0.88	0.47	0.02	1.44

**Table 1b.** Isotopic ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$ ) information of groundwater samples from the SLPB study area**1b. táblázat.**  $\delta^{18}\text{O}$ - és  $\delta\text{D}$ -értékek a San Luis Potosí-medence felszínalatti vizeiben

Location	Temperature °C	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ <sub>100</sub>	$\delta^2\text{H}$ ‰ <sub>100</sub>
thermal water - regional flow (Neogene fractured volcanic)			
regional38	35.6	-9.91	-69.40
regional39	35.5	-9.81	-74.53
regional40	33.7	-10.46	-76.10
regional41	30.2	-10.15	-72.03
regional42	32.1	-10.09	-73.91
regional43	32.0	-9.94	-70.46
regional44	34.1	-9.82	-70.51
regional45	35.1	-9.78	-69.05
regional46	33.5	-9.65	-69.90
regional47	34.7	-9.19	-66.11
regional48	34.9	-9.25	-66.65
regional49	32.6	-8.38	-62.68
cold water - intermediate flow (Neogene Granular Undifferentiated)			
intermediate50	24.1	-10.98	-79.40
intermediate51	25.2	-11.49	-81.13
intermediate52	26.5	-11.27	-82.68
intermediate53	29.3	-10.80	-80.61
intermediate54	26.5	-9.32	-66.60
intermediate55	26.5	-11.34	-84.67
intermediate56	28.0	-9.47	-70.13
intermediate57	28.8	-9.51	-74.72
intermediate58	28.0	-9.18	-71.47
shallow wells - local flow (Alluvium)			
local59	20.9	-11.58	-86.18
local60	20.6	-9.60	-75.23
local61	20.6	-8.53	-64.80
local62	19.2	-6.28	-49.56
local63	23.4	-9.96	-76.65
local64	20.0	-9.68	-78.13
local65	21.3	-8.42	-67.54
local66	22.0	-5.42	-56.12
local67	20.9	-9.08	-79.12
local68	20.6	-9.91	-75.88
local69	22.8	-11.86	-67.57
local70	23.3	-4.72	-77.49
local71	22.2	-9.99	-83.84
local72	21.6	-10.40	-81.80
local73	22.0	-10.31	-81.32
local74	19.4	-10.26	-81.67
local75	20.7	-9.92	-79.64
local76	20.7	-9.45	-76.71
local77	20.8	-9.69	-68.83
local78	21.7	-9.57	-70.08
local79	22.6	-9.63	-68.95
local80	20.7	-10.44	-82.13
local81	23.0	-9.99	-73.88
local82	20.2	-8.77	-70.48
local83	20.8	-11.51	-83.87
local84	20.1	-9.85	-68.83

## Results

In the SLPB 27 groundwater samples were collected and analysed from regional and intermediate flow systems from Tertiary fractured volcanic (Tv) and Tertiary Granular Undifferentiated (TGU), respectively (see Figures 1a and 1b). Samples were collected from the shallow aquifer unit 10) in alluvium representing local flows. Isotope samples included 26 from local, 9 from intermediate and 12 from the regional flow systems.

The intermediate and regional flows were identified from water extracted by deep boreholes (>150 m) (Table 1). These flows are represented by two main types of water:  $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$  and  $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ , respectively. The temperature of the intermediate system is from 25.8 °C to 29.3 °C; whilst for the regional has a mean temperature of 35.4 °C and a maximum of 40.4 °C. The depth of shallow boreholes varies from 10 to 36 m, its mean water temperature is 21.2 °C. The lack of radioisotope data to establish relative water age was compensated using  $\text{Li}^+$  as a proxy to support system hierarchy with residence time (Edmunds et al, 1986; CARRILLO-RIVERA et al, 1996).

Table 1, shows that the electrical conductivity (EC) ranges from 96 to 426 mS/cm, and from 223 to 389 mS/cm in the intermediate and regional flows, respectively. Mean concentrations of relevant species in the intermediate flow system are as follows:  $\text{Na}^+ = 0.977\text{mmol/l}$ ,  $\text{Ca}^{2+} = 0.611\text{mmol/l}$ ,  $\text{Li}^+ = 3.44\text{mmol/l}$ ,  $\text{Cl}^- = 0.47\text{mmol/l}$ ,  $\text{NO}_3^- = 0.033$ ,  $\text{F}^- = 0.028\text{mmol/l}$ . In the regional flow mean concentration:  $\text{Na}^+ = 2.155\text{mmol/l}$ ,  $\text{Ca}^{2+} = 0.464\text{mmol/l}$ , and  $\text{Li}^+ = 20.71\text{mmol/l}$ ,  $\text{Cl}^- = 0.485\text{mmol/l}$ ,  $\text{NO}_3^- = 0.027\text{mmol/l}$ , and  $\text{F}^- = 0.131\text{mmol/l}$ . In the local flow system (Figure 1b) the average value of EC and concentration of most cations and anions are higher than in the waters from intermediate and regional systems; however the  $\text{F}^-$  and  $\text{Li}^+$  concentrations are lower.

The contrasting chemical character of the SLPB flow systems is weakly reflected on their isotopic content; mean values of  $\delta\text{D}$  are basically similar ( $-73.4\text{‰} \pm 2$ ), the only significant difference is found in regard to  $\delta^{18}\text{O}$ , between the regional with  $-9.65\text{‰}$  and the shallow,  $-9.42\text{‰}$  as compared to the intermediate system that has  $-10.37\text{‰}$  content.

Regarding the PB, Table 2 shows 44 samples that were collected along the flow path of the intermediate flow system (Figure 2b). The depth of the samples is from 9 m to 741 m; Borehole-head temperatures are from 10 to 36 °C. Shallow (<100 m) samples represent from the recharge area to the discharge area of the intermediate flow. In the recharge areas of the local system the mean concentration of cations and anions, except  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , are different to those in the discharge area. The mean content of  $\text{Na}^+$  are 1.48mmol/l (recharge area) and 13.8mmol/l (discharge area) at shallow level, and 1.95mmol/l in the deep Pleistocene aquifer units. Above 100m the mean  $\text{Ca}^{2+}$  concentration is 2.57mmol/l (recharge) and 0.50 mmol/l (discharge) while below 100m it is 1.05mmol/l. The

**Table 2.** Chemical composition of groundwater samples from the PB study area.**2. táblázat.** Felszínalatti vizek kémiai összetétele a Pannon-medence vizgált régiójában

Location	Depth m	Conductivity µS/cm	Si mmol/l	Na mmol/l	pH	K mmol/l	Cl mmol/l	Alkalinity meq/l	Ca mmol/l	Mg mmol/l	Temperature °C	SO <sub>4</sub> mmol/l	NO <sub>3</sub> mmol/l	δ <sup>18</sup> O ‰	δ <sup>11</sup> B ‰
Shallow water - recharge area															
Ásotthalom	10			1.17	7.65	0.02	5.52	5.70	4.90	2.80	11	2.27	0.11	8.82	57.30
Ásotthalom	12	385		0.16	7.80	0.01	0.01	4.80	1.83	0.92	12	0.05	0.01	-9.22	-65.20
Ásotthalom	44	1030		0.96	7.20	0.03	0.37	5.00	1.73	0.55	11	0.10	0.00	-9.45	-69.70
Mélykút	15	420		0.31	7.15	0.02	0.06	6.34	1.70	0.99	12	0.11	0.01		
Csikéria	50	560		2.78	8.23	0.16	1.18	4.75	1.25	0.58	13	0.26	0.01		
Csikéria	12	1570		1.74	7.20	0.18	2.00	3.93	5.08	2.39	12	2.80	5.00	9.05	65.98
Kéleshalom	25	560		0.21	7.65	0.01	0.25	6.48	1.98	1.81	11	0.65	0.00		
Pusztamérges	10	765		0.18	8.30	0.02	0.65	2.80	3.40	1.12	10	0.95	3.65		
Kuhfőhértő	10			0.37	8.31	0.01	0.34	2.39	2.10	1.01	11	0.63	1.54		
Pusztaszer	10	816	0.30	2.05	7.39	0.36	1.27	7.73	2.02	1.91	13	0.60	0.10	9.49	69.08
Dóc	9	1149	0.19	4.27	7.33	0.02	6.48	5.79	3.87	0.97	11	0.83	0.21	9.67	70.10
hereg	50	970	0.35	3.74	7.30	0.09	1.10	11.30	2.58	1.52	14	0.00	0.00		
hereg davod4kut	50	1250	0.26	2.83	7.10	0.45	2.25	10.60	3.67	2.96	15	0.00	0.00		
sukosd63	41	620	0.34	1.30	7.40	0.05	0.25	8.10	2.00	1.44	17	0.00	0.00		
sukosd63	63	450	0.30	0.30	7.50	0.01	0.20	5.50	1.52	0.99	14	0.00	0.00		
gara1kut	65	620	0.32	1.35	7.40	0.05	0.31	8.70	2.29	1.03	14	0.00	0.00		
gara3kut	82	590	0.38	1.43	7.50	0.04	0.23	8.40	1.85	1.28	15	0.00	0.00		
mean		783	0.30	1.48	7.55	0.09	1.32	6.37	2.57	1.43	13	0.84	0.63	9.28	66.23
Shallow water - discharge area															
Kardoskút	9	2180	0.38	20.39	7.80	0.06	6.48	20.11	1.70	1.33	14	1.48	0.00	11.39	86.00
Kardoskút	60	1100		11.99	8.31	0.11	1.84	13.50	0.50	0.48	15	0.00	0.05	-11.67	-85.20
Kardoskút	15	1100	0.32	12.04	7.91	0.03	1.18	21.48	0.63	0.49	14	0.10	0.00	12.05	96.20
Kardoskút	9	1790	0.16	19.09	8.62	0.03	1.38	17.17	0.32	0.19	15	0.84	0.00	10.95	92.40
Kardoskút	9	2110	0.38	25.00	8.14	0.02	4.54	21.72	0.25	0.37	14	0.59	0.00	9.81	86.50
Kardoskút	15	1350	0.49	13.83	7.94	0.05	1.32	15.93	0.78	0.55	14	0.12	0.00	-11.79	-88.60
Kardoskút	9	1510	0.50	15.39	7.99	0.06	1.38	17.84	0.79	0.57	14	0.12	0.00	-12.80	-87.50
Kardoskút	60	830	0.35	9.57	8.26	0.02	0.14	10.57	0.26	0.23	11	0.10	0.00	12.42	95.30
Kardoskút	53	840	0.35	9.48	8.25	0.02	0.14	10.25	0.22	0.18	13	0.12	0.00	12.45	97.70
Kardoskút	100	830	0.36	9.30	8.35	0.02	0.20	10.05	0.22	0.19	11	0.22	0.00	12.44	97.30
sóstó-ny	42	900		10.87	8.37	0.01	0.23	11.10	0.22	0.23	16	0.13	0.00		
mean		1322	0.36	14.27	8.18	0.04	1.71	15.43	0.54	0.44	14	0.35	0.00	-11.78	-91.27
Intermediate flow system															
hajos151	151	450	0.40	0.57	7.50	0.03	0.11	5.60	1.52	0.74	17	0.00	0.00	9.54	69.50
csikéria2	152	440	0.40	0.61	7.60	0.03	0.17	6.00	1.57	0.66	18	0.00	0.00	-9.52	-69.70
halotasz2	149	390	0.35	0.48	7.80	0.04	0.14	5.50	1.48	0.78	17	0.00	0.00	-9.34	-67.50
puszmer176	176	367	0.36	0.70	7.80	0.03	0.06	4.40	1.40	0.66	17	0.00	0.00	9.32	66.60
asott166	166	533	0.38	0.83	7.60	0.02	0.08	5.80	1.27	0.82	16	0.00	0.00	9.23	66.20
íorrask245	245	387	0.45	0.83	7.70	0.03	0.06	5.30	1.45	0.91	19	0.00	0.00	9.25	66.20
sandorf460	460	370	0.47	0.91	7.70	0.03	0.08	5.00	1.05	0.78	26	0.00	0.00	-9.83	-72.11
Szeged	550	680	0.65	2.43	7.80	0.03	0.06	6.10	0.86	0.79	32	0.00	0.00	-11.10	-83.60
Szeged	664	530	0.36	5.57	8.23	0.03	0.08	6.60	0.31	0.21	36	0.00	0.00	12.30	92.60
Szeged	520	447	0.47	2.17	8.09	0.03	0.08	6.10	0.89	0.79	32	0.00	0.00	12.60	93.10
csongr310	310	673	0.38	2.70	7.40	0.05	0.14	5.40	0.92	0.70	22	0.00	0.00		
Vajhat	741	470	0.47	4.17	8.10	0.03	0.06	6.20	0.43	0.36	33	0.00	0.00	-12.40	-93.50
Hmv	617	470	0.44	2.83	7.86	0.03	0.11	5.70	0.72	0.67	29	0.00	0.00	12.60	94.50
hmvhely410	410	482	0.42	1.65	7.70	0.02	0.08	5.00	0.87	0.78	24	0.00	0.00	12.56	93.50
írenc305	305	408	0.36	2.87	7.80	0.02	0.08	6.00	0.95	0.58	24	0.00	0.00	12.84	95.80
Kardoskút	143	760	0.40	8.96	8.29	0.02	0.08	9.62	0.15	0.13	14	0.10	0.00	-11.95	-94.70
mean		491	0.42	2.39	7.81	0.03	0.09	5.90	0.99	0.65	23	0.01	0.00	-10.96	-81.27

distribution of Mg<sup>2+</sup> content is similar to that of Ca<sup>2+</sup>. In the shallow samples in the recharge and discharge areas the average value is 1.43 and 0.41 mmol/l, respectively, and it is 0.68 mmol/l in deep layers. In the shallow aquifer units the average HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> content is 6.3 mmol/l (recharge) and 14.9 mmol/l (discharge), and in the deep groundwater it is

5.7 mmol/l. The average Cl<sup>-</sup> concentration is 1.43 mmol/l in both areas of shallow groundwater, deep samples have 0.09 mmol/l. Sulphate was found in the shallow samples, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> only in the shallow samples from the recharge area, whereas the regional groundwater flow was free of both anions (Table 2).

In the shallow samples of the PB, both  $d^{18}O$  and  $dD$  values differ significantly in the recharge ( $-9.28\text{‰}$  and  $-66.22\text{‰}$ ) and discharge ( $-11.97\text{‰}$  and  $-91.21\text{‰}$ ) areas. When the isotopic composition is considered it may be found that values in some deep samples are similar to those in the recharge area of the local flow, others are comparable to those in the discharge shallow samples.

## Discussion

In the SLPB local, intermediate and regional flow systems are distinguished in the upper 450m (CARRILLO-RIVERA et al. 1996, CARDONA, CARRILLO-RIVERA 2006). In the PB a complete intermediate flow system in the upper 700 m can be followed from recharge to discharge areas (Figure 2b).

### Depth dependence of dissolved chemical components

In both the SLPB and PB near the surface (<100 m deep) the TDS content is found to have significant variability, but below 100 m the chemical composition of groundwater becomes homogeneous, and the concentration of dissolved compounds is low, as it is

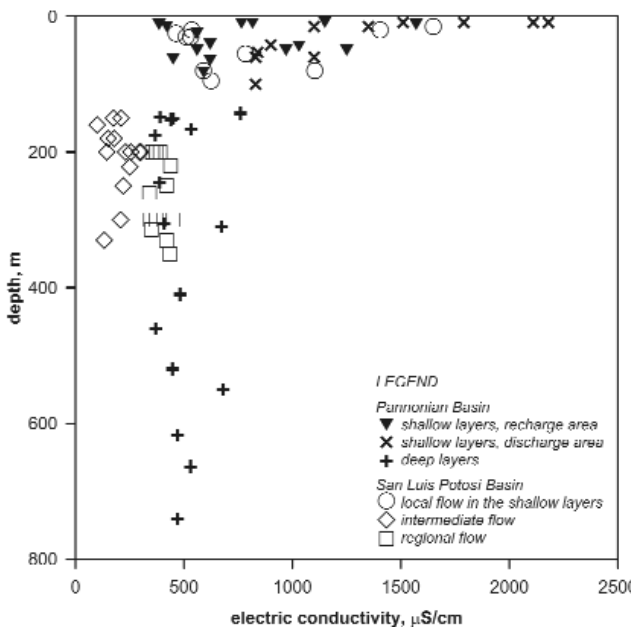


Figure 3. Variability of specific electric conductivity along the studied depth interval in the PB and SLPB

3. ábra. A fajlagos elektromos vezetőképesség változása a mélységgel a San Luis Potosi- és a Pannon-medencében

indicated by EC (Figure 3). Depth dependence of  $Cl^-$  and  $NO_3^-$  is shown in Figures 4 and 5, respectively; deep samples contain low concentration of  $Cl^-$  and negligible  $NO_3^-$ , behaviour that seems to be independent of the geological environment. Shallow PB groundwater shows

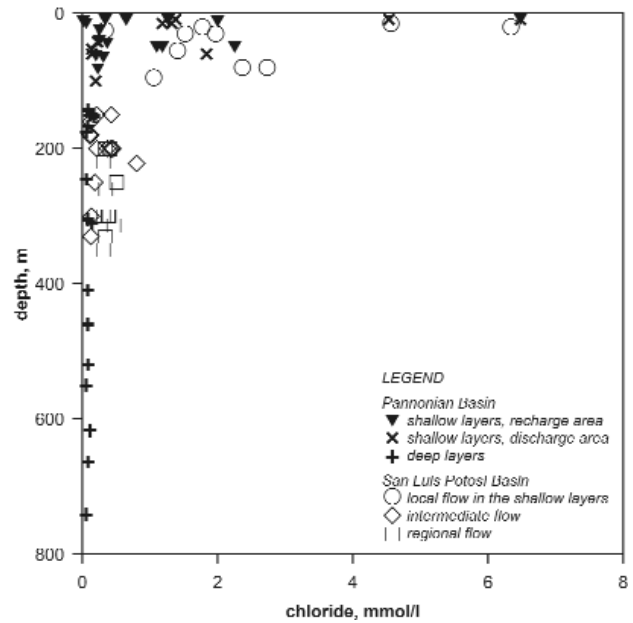


Figure 4. Depth dependence of  $Cl^-$  for the PB and SLPB

4. ábra. A  $Cl^-$  koncentráció mélységfüggése San Luis Potosi- és a Pannon-medencében

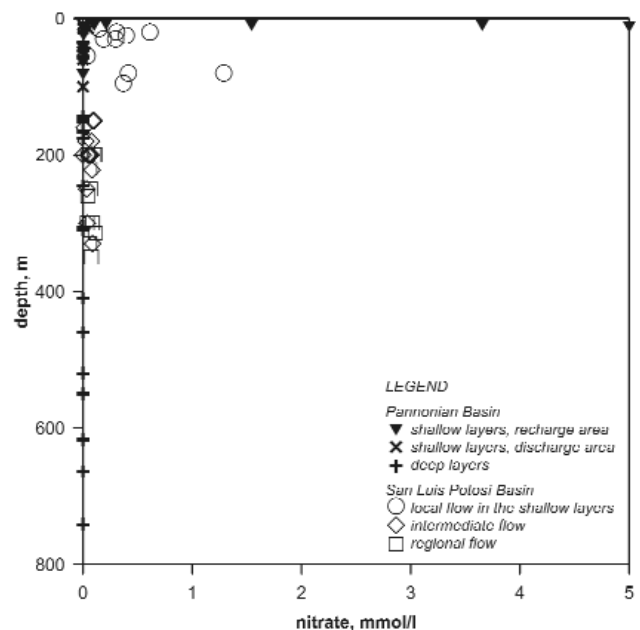
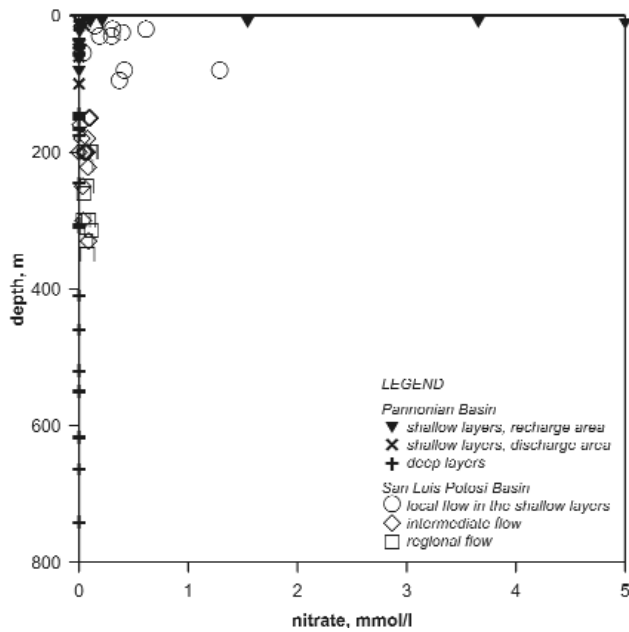


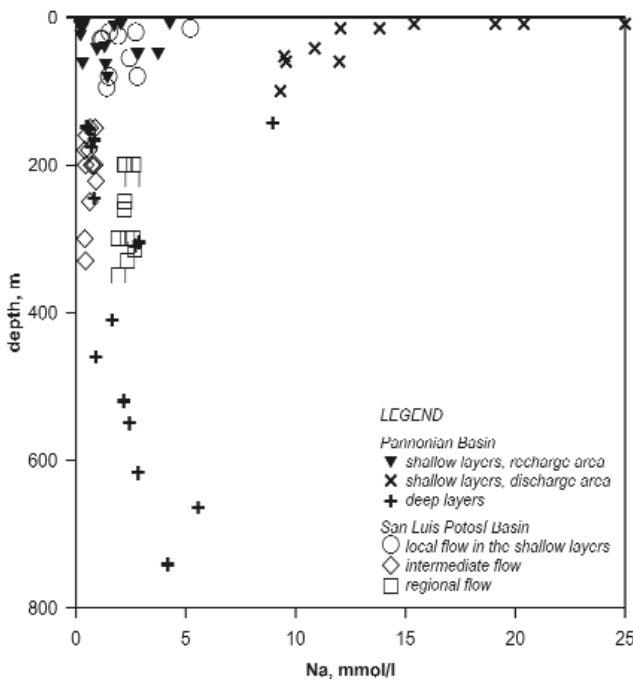
Figure 5. Depth dependence of  $NO_3^-$  for the PB and SLPB

5. ábra. A  $NO_3^-$  mélységfüggése San Luis Potosi- és a Pannon-medencében

different  $NO_3^-$  concentration in recharge and discharge areas of the flow system due to organic contamination and denitrification processes, respectively; the recharge area exhibit a wide range of concentrations, and in the discharge area  $NO_3^-$  is under detection limit. Considering depth dependence in the PB of  $Na^+$  and  $Ca^{2+}$  (Figures 6 and 7), it is found that  $Ca^{2+}$  is decreasing along the flow path, while  $Na^+$  is increasing in that direction due to  $CO_2$  available and ion exchange, respectively. Concentrations



**Figure 6.** Depth dependence of  $\text{Ca}^{2+}$  for the PB and SLPB  
 6. ábra. A  $\text{Ca}^{2+}$  mélységfüggése a San Luis Potosí- és a Pannon-médecében

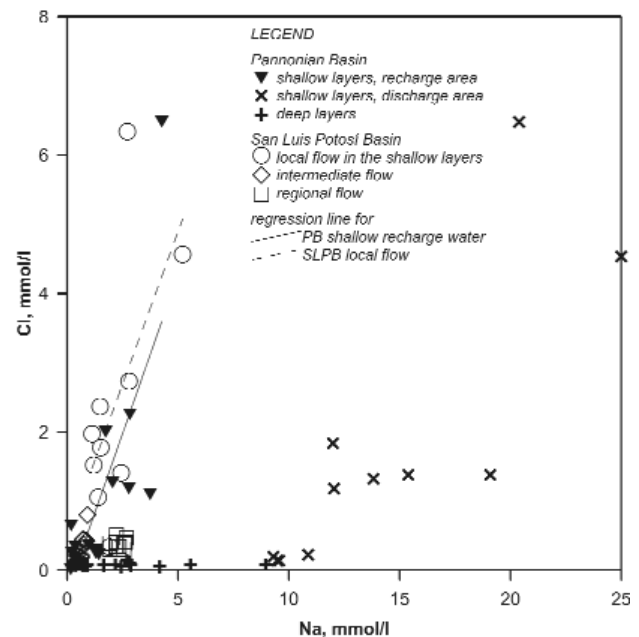


**Figure 7.** Depth dependence of  $\text{Na}^+$  for the PB and SLPB  
 7. ábra. A  $\text{Na}^+$  mélységfüggése a San Luis Potosí- és a Pannon-medencében

in the local flow system in the SLPB are similar to those of the shallow water in the recharge area in the PB, suggesting in both cases the residence time of the flow path lengths is comparable as well as rock-water interaction processes.

*Na-Cl as an indicator of the vertical component of groundwater flow*

In general,  $\text{Cl}^-$  is conservative component; evaporation and mixing are considered as the main factors controlling its concentration in groundwater. Solubility of  $\text{Na}^+$  compounds is high, so, it remains in solution in different range of concentration. In the SLPB,  $\text{Na}^+$  suggests the particular groundwater flow path as its presence in groundwater is found to increase due to temperature and residence time (CARRILLO-RIVERA et al. 1996; Cardona & CARRILLO-RIVERA 2006). Evaluation of the ratio of  $\text{Na}^+$  to  $\text{Cl}^-$  gives valuable information about the stoichiometry of the processes. The molar ratio of  $\text{Na}^+$  to  $\text{Cl}^-$  of approximately 1:1 means that the total amount of  $\text{Cl}^-$  is related to  $\text{Na}^+$ , so zero intercept of the regression line indicates that the source of both  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  is evaporation of rainwater. In the local and intermediate flows in the SLPB, and in the shallow recharge areas of the intermediate flow system in the PB the importance of evaporation was established (Figure 8). Sodium-Chloride type water found below an aquitard some 2,500 m deep is interpreted as a lack of influence of unflushed connate water in the PB.



**Figure 8.** Chloride vs sodium for samples for both the SLPB and PB boreholes

8. ábra.  $\text{Cl}^-$ -tartalom és  $\text{Na}^+$ -koncentráció a San Luis Potosí- és a Pannon-medencében

As  $\text{NaCl}$  concentration is low in rainwater (around 0.1 mmol/l for PB and 0.065 mmol/l for SLPB), its evaporation yields a relatively low  $\text{NaCl}$  content in the infiltrating water. Shallow  $\text{NO}_3^-$ -free groundwater with high  $\text{Cl}^-$  content suggests the water moves from a reduced zone to the surface where evaporation is taking place indicating discharging conditions. High  $\text{Cl}^-$  concentration may represent presence

of contaminated water from anthropogenic sources as well. Here,  $\text{NO}_3^-$  content is to be considered. In sedimentary layers with organic matter  $\text{NO}_3^-$  is reduced, consequently, infiltrating water with  $\text{NO}_3^-$  down to a certain depth will depend on redox conditions. Upward-flow reduced groundwater is  $\text{NO}_3^-$  free, so its presence suggests contamination. High  $\text{Cl}^-$  may also reflect groundwater residence time as it is meant to be an anthropogenic source free.

In the recharge area of the intermediate flow in the PB, the  $\text{NO}_3^-$ -free shallow groundwater with high  $\text{Cl}^-$  content represents the end of the flow path of local flow systems. The local flow systems may be nested onto the recharge area, or above of a transit area of the intermediate flow system. In the recharge area the water infiltrates through the shallow layers supplying either the local and/or intermediate flow systems.

In the SLPB the local flow systems were defined based on geological and topographical settings (samples are located on a perched aquifer). The intermediate flow is located beneath, at a depth interval between 150m and 450m. Evaporation seems to be important in controlling the  $\text{Cl}^-$  content in both the local and intermediate flow systems, although contamination resulting from agricultural practices with sewage untreated water from San Luis Potosí City cannot be excluded in the local flow (Figure 8).

#### Calcium, magnesium and sodium as indicators of flow direction

In the intermediate and regional flow systems the lateral or horizontal flow path has a long residence time enough to modify the chemical composition of water through water-rock interaction. If water-rock interaction takes place a systematic change of one or another component suggests the flow direction (APPELO, POSTMA 1996). Distribution of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  determined by ion exchange may be a good indicator of groundwater flow. The path in local flow systems is short and the pore space has probably been flushed many times resulting in a complete exchange of the original set of cations on the exchanger producing water in equilibrium with the ion exchanger, and fail to show a chromatographic pattern that could be traced.

In the PB, according to the potentiometric contours of Figure 2a, the direction of water flow is from W to E (ERDÉLYI 1979). Along the flow path significant changes in the concentration of the main cations occur. The samples with the highest  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  content are situated in the recharge area to the W of the PB. The water samples having the lowest  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , and the highest  $\text{Na}^+$  content are to the E of the PB. The  $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$  type water corresponds to the discharge area of the intermediate flow system. From the chemical point of view, there is a transit area between the  $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$  and the  $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$  type water, where ion exchange can be traced (Figure 9). In the recharge area  $\text{Ca}^{2+}$  concentration is decreasing from the shallow to the deep layers along the flow path because the inflow of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  is in equilibrium dissolution of carbonate-minerals, which is controlled by local partial pressure of  $\text{CO}_2$ . The

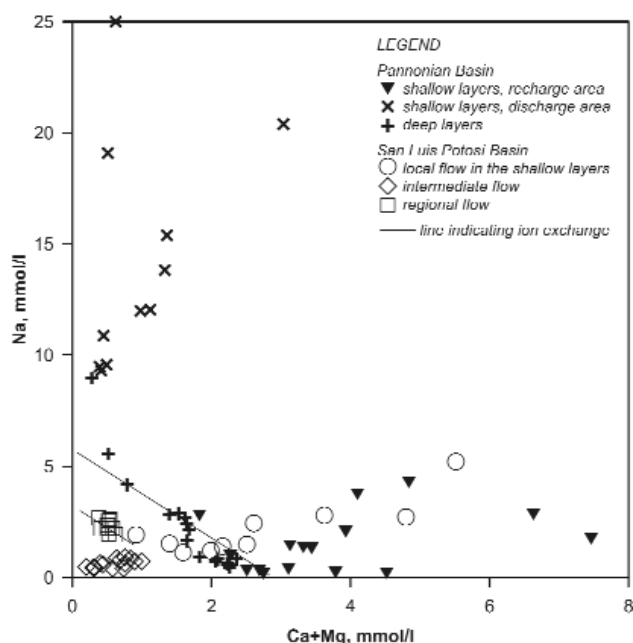


Figure 9. Relationship between the major mono ( $\text{Na}^+$ ) and divalent cations ( $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ ) for the PB and SLPB

9. ábra. Az egy- ( $\text{Na}^+$ ) és két- ( $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$ ) vegyértékű ionok koncentrációja közötti összefüggés a San Luis Potosí- és a Pannon-medencében

$\text{CO}_2$  originates from the transformation of organics (VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS 1997). So, in the shallow groundwater, differences in  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  content reflect different local partial pressures of  $\text{CO}_2$ . In groundwater moving downward,  $\text{CO}_2$  partial pressure becomes homogeneous. In the discharge area the concentration of  $\text{Ca}^{2+}$ , if no additional source of  $\text{CO}_2$  is present, remains constant. Due to ion exchange,  $\text{Na}^+$  is the mirror image of that of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ . Excess  $\text{Na}^+$  at the discharge area of the local flow system indicates an additional  $\text{Na}^+$  source, due to weathering of Na-feldspar (VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS 2001).

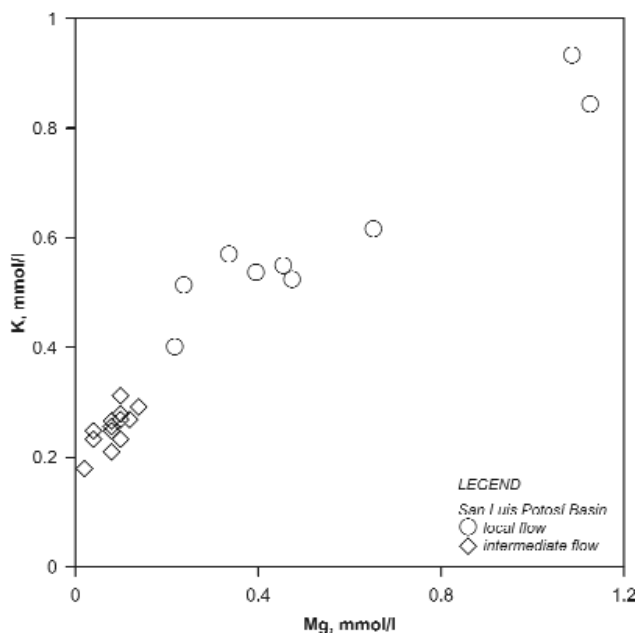
In the SLPB the  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  content is low and homogeneous in the regional flow system. Further, based on the opposite change in the mono and divalent cations, ion exchange is supported by the presence of clay minerals in aquifer material. The location of the regional flow samples below a confining unit (Figure 9) suggests that they represent a transit area of the flow path between the recharge and discharge areas.

#### Local and intermediate flow systems communication in the SLPB

When water-rock interaction occurs the content of chemical constituents may increase or decrease along the flow path. In the SLPB, processes other than ion exchange are most important in controlling the concentration of major elements. CARRILLO-RIVERA et al. 1996) pointed out the induced mixing between regional and intermediate flows due to uncontrolled extraction; several boreholes withdraw mixed water after a certain period of pumping. However,



distribution of major constituents suggests mixing between intermediate and local flows. The intermediate flow in the SLPB has low TDS content, so it can be considered a well-leached system. Significant correlation between cations and anions was found in the intermediate and local and flow systems. The  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  contents in intermediate water increase from SW to NE, by the edge of the compact sand-layer. Based on the Na-Cl plot (Figure 8), it was concluded that the intermediate flow system is affected from shallow water seeping over the edge of the compact sand-layer into the intermediate flow system beneath. Communication that is also supported (Figures 9 and 10) by other chemical components ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Despite contamination by sewage water reported since 1960 (STRETTA, DEL ARENAL 1960), it could be inferred that these effluents fail to reach



**Figure 10.** Potassium vs. magnesium for samples from the SLPB (deep) boreholes

10. ábra.  $\text{K}^+$ - és  $\text{Mg}^{2+}$ -koncentráció a San Luis Potosí-medencében

the intermediate flow system through the sand-layer due to its low hydraulic conductivity,  $\approx 10^{-9} \text{ m}\times\text{s}^{-1}$  (CARRILLO-RIVERA et al. 2002). Shallow water influences the water quality in the intermediate flow by mixing through abandoned or faulty boreholes, mainly.

### Geochemical modelling

The calculated mean values of the chemical components in the local flow systems, and ion ratios in the SLPB indicate that the natural source of  $\text{Cl}^-$  is rainwater (originated from the sea), but almost the total amount of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Mg}^{2+}$  originate from sources other than rainwater;  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  are obtained mainly from gypsum and calcite rich dust in the environment derived from industrial activities (Cardona & CARRILLO-RIVERA 2006); aeolian dust from discharge areas

deposited in the soil is ruled out as no discharge for intermediate and regional flows are present within the SLPB. An additional source for solutes is from water-rock interaction. In the PB the shallow groundwater from the recharge area of the intermediate flow, the amount of  $\text{Cl}^-$  and almost 80% of  $\text{Na}^+$  originates from rainwater, but the source of the total amount of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{HCO}_3^-$  and most of  $\text{K}^+$  must be from water-rock interactions.

To understand processes influencing water chemistry, calculation of saturation indices (S.I.) with WATEQP (APPELO 1988) and forward modelling with PHREEQE (PARKHURST 1995) were performed; calculations are summarized in Tables 3 and 4. In the SLPB, results indicate undersaturation with respect to calcite, dolomite and gypsum, and oversaturation in respect of chalcedony and quartz. Saturation conditions are similar in the local and intermediate flows. This is attributed to similar water-rock interactions in both flow systems. In the PB, equilibrium is found with respect to chalcedony, and a slight oversaturation with respect to calcite was obtained. Oversaturation in respect to calcite is not obvious, but either heterogeneity of the particles or substitutions in the pure carbonate structure should not be excluded as possible reasons (EDMUNDS et al. 1987). Average S.I. values increase from recharge to discharge area of the intermediate system indicating water-rock interaction along the flow path.

In the SLPB, pH values in water samples intermediate and regional flow systems are around or slightly below the 7.0 value. In spite of the relatively high  $\text{H}^+$  concentration, the  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  content is low, and the water is undersaturated in regard to calcite. This suggests that water with low pH is not in contact with  $\text{Ca}^{2+}$ -containing minerals, due to a lack of carbonates, mainly towards the western margin of the SLPB plane. The low dissolved solid content indicates a limited availability of carbonate minerals and a slow reaction rate for incongruent dissolution of silicate minerals. High silica concentration and oversaturation in chalcedony support the presence of amorphous silica.

In the SLPB calculations were made with PHREEQE (PARKHURST 1995) in open system at  $\log(\text{pCO}_2)=1.5\text{atm}$ . Recharge is occurring outside the basin limits, a downward water flow reaches the base of the fractured volcanic rock units, where the temperature is at least  $70^\circ\text{C}$ , reaching equilibrium with calcite and chalcedony. This simulation resulted in alkalinity=2.37meq/l, pH=6.99, Ca=1.14mmol/l, and Si=0.80mmol/l. According to the principles of the flow system theory there are several features that suggest that the tapped water belongs to a regional flow as the temperature was  $\approx 40^\circ\text{C}$  and it is also in agreement the groundwater belonging to a transit area as the registered potentiometric surface depth of boreholes producing this type of flow had a water table  $\approx 120\text{m}$  deep. Indeed the lack of a regional or intermediate flow discharge area also suggests that the tapped flow is derived from beyond the SLPB drainage area. Withdrawal induces this flow from aquifer depth to the level of borehole extraction During upward flow temperature decreases, solubility of chalcedony decreases, and that of

**Table 3.** SI values for the SLPB groundwater

**3. táblázat.** *Telítettség index (SI) a San Luis Potosí-medence felszínalatti vizeiben*

Sample	Calcite	Dolomite	Gypsum	Chalcedony	Quartz	P-CO <sub>2</sub>
Thermal water - regional flow						
regional1	-0.79	-2.32	-2.69	0.31	0.75	-1.68
regional2	-0.89	-2.59	-3.17	0.41	0.86	-1.76
regional3	-0.59	-2.08	-2.85	0.30	0.72	-1.73
regional4	-0.85	-2.29	-2.82	0.36	0.81	-1.84
regional5	-0.69	-2.09	-2.66	0.38	0.82	-2.08
regional6	-0.55	-1.81	-2.90	0.42	0.85	-1.92
regional7	-0.69	-2.11	-2.75	0.36	0.80	-1.81
regional8	-0.69		-2.61	0.52	0.96	-1.82
regional9	-0.36	-1.96	-2.58	0.35	0.79	-2.14
regional10	-0.57	-2.10	-2.75	0.40	0.83	-1.90
regional11	-0.68	-2.58	-2.64	0.36	0.80	-1.84
regional12	-0.50		-2.56	0.53	0.98	-1.95
regional13	0.08	-0.30	-2.67	0.39	0.83	-2.72
mean	-0.59	-2.00	-2.71	0.39	0.83	-1.94
Cold water - intermediate flow						
intermediate14	-1.59	-3.79	-3.75	0.75	1.24	-1.65
intermediate15	-2.13	-5.16	-4.31	0.74	1.23	-1.67
intermediate16	-2.09	-4.45	-3.54	0.70	1.18	-1.75
intermediate17	-1.83	-4.22	-3.32	0.73	1.22	-1.70
intermediate18	-2.05	-4.48	-3.76	0.73	1.21	-1.74
intermediate19	-1.50	-3.47	-3.11	0.71	1.19	-1.50
intermediate20	-1.38	-3.42	-2.91	0.69	1.18	-1.67
intermediate21	-0.87	-2.88	-3.24	0.72	1.20	-2.05
intermediate22	-0.65	-2.11	-2.81	0.72	1.21	-2.06
intermediate23	-0.51	-1.86	-2.71	0.71	1.19	-2.11
intermediate24	-0.38	-1.61	-3.82			-2.41
intermediate25	-0.44	-1.73	-3.83	0.68	1.16	-2.41
intermediate26	-0.57	-2.20	-3.59	0.67	1.15	-2.51
intermediate27	-0.32	-1.53	-3.04	0.65	1.13	-2.26
mean	-1.10	-2.97	-3.22	0.71	1.19	-1.95
Shallow wells - local flow						
local28	-1.56	-3.70	-1.88	0.64	1.13	-0.76
local29	-1.31	-3.22	-1.78	0.67	1.17	-1.00
local30	-0.81	-2.18	-1.04	0.54	1.04	-0.47
local31	-0.72	-2.08	-1.69	0.67	1.17	-0.98
local32	-1.43	-4.22	-1.58	0.64	1.14	-0.63
local33	-1.69	-3.92	-2.02	0.67	1.17	-1.21
local34	-0.61	-1.85	-1.48	0.65	1.15	-1.04
local35	-0.65	-1.81	-1.40	0.58	1.08	-1.11
local36	-1.54	-3.73	-1.94	0.64	1.14	-1.24
local37	-1.37	-3.23	-2.13	0.61	1.11	-1.37
mean	-1.09	-2.76	-1.61	0.63	1.13	-0.98

carbonate increases. Ion exchange of mono- and bivalent ions is indicated by the inverse images of the Na<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> content, and by the very similar alkalinity values. Ion exchange takes place on the clay minerals, so the relationship between Na<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> indicates formation of clay minerals in the fractured felsic volcanic rocks. The ranges of content of mono- and divalent cations are characteristic on a very narrow part of the flow line (Figure 8) in the transit area. In the fractured volcanic rocks, due to the lack of carbonate and the decrease in temperature calcite

undersaturation and kinetic constrains oversaturation in chalcedony, occurs. The simulated S.I.<sub>calcite</sub> and S.I.<sub>chalcedony</sub>

**Table 4.** SI values for the PB groundwater

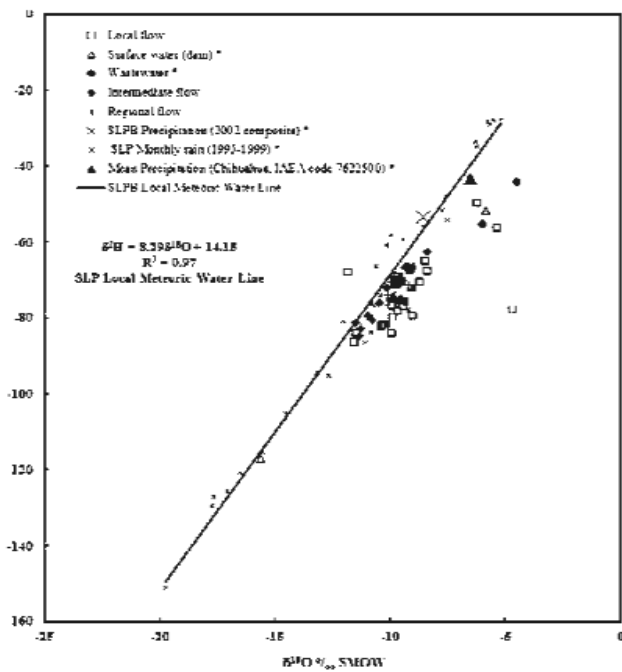
**4. táblázat.** *Telítettség index (SI) a Pannon-medence vizsgált régiójának felszínalatti vizeiben*

Sample	Calcite	Dolomite	Gypsum	Chalcedony	Quartz	P-CO <sub>2</sub>
Shallow water - recharge area						
Ásotthalom	0.64	0.96	-1.03			-2.25
Ásotthalom	0.46	0.57	-2.85			-2.43
Ásotthalom	-0.15	-0.88	-2.55			-1.81
Mélykút	-0.10	-0.51	-2.53			-1.66
Csikéria	0.72	1.05	-2.29			-2.87
Csikéria	0.07	-0.24	-0.91			-1.94
Kéleshalom	0.39	0.68	-1.81			-2.17
Pusztamérges	0.90	1.23	-1.40			-3.20
Kuhnéhány	0.66	0.93	-1.73			-3.27
Pusztaszter	0.25	0.42	-1.85	0.14	0.67	-1.82
Dóc	0.29	-0.10	-1.48	-0.03	0.51	-1.90
herceg	0.43	0.59		0.20	0.73	-1.56
herceg	0.34	0.54		0.06	0.59	-1.40
davod4kut	0.37	0.57		0.15	0.66	-1.78
sukosd63	0.18	0.13		0.13	0.66	-2.06
gara1kut	0.41	0.43		0.16	0.69	-1.77
gara3kut	0.42	0.65		0.22	0.74	-1.88
mean	0.37	0.41	-1.86	0.13	0.66	-2.10
Shallow water - discharge area						
Kardoskút1	0.87	1.59	-1.70	0.23	0.76	-1.83
Kardoskútm	0.79	1.54				-2.49
Kardoskút1	0.65	1.14	-3.16	0.16	0.69	-1.90
Kardoskút4	0.90	1.56	-2.60	-0.17	0.36	-2.72
Kardoskút5	0.42	0.97	-2.88	0.24	0.77	-2.13
Kardoskút7	0.66	1.12	-2.96	0.35	0.88	-2.06
Kardoskút8	0.75	1.32	-2.99	0.35	0.88	-2.06
Kardoskút3	0.35	0.58	-3.41	0.23	0.77	-2.56
Kardoskút6	0.28	0.42	-3.41	0.21	0.74	-2.55
Kardoskút1	0.35	0.56	-3.13	0.23	0.77	-2.67
sóstó-ny	0.44	0.89	-3.40			-2.63
mean	0.59	1.06	-2.96	0.20	0.74	-2.33
Intermediate flow system						
hajos151	0.23	0.14		0.22	0.73	-2.03
csikéria2	0.39	0.40		0.21	0.72	-2.10
balotasz2	0.51	0.73		0.16	0.67	-2.34
puszmer176	0.40	0.47		0.17	0.69	-2.44
asott166	0.26	0.30		0.21	0.73	-2.12
forrask245	0.41	0.63		0.24	0.75	-2.25
sandorf460	0.36	0.67		0.18	0.66	-2.23
Szeged	0.52	1.13		0.26	0.71	-2.20
Szeged	0.57	1.15		-0.06	0.38	-2.57
Szeged	0.82	1.72		0.11	0.56	-2.50
csongr310	-0.02	-0.13		0.14	0.63	-1.92
Vajhat	0.53	1.13		0.10	0.56	-2.49
Hmv	0.44	0.95		0.12	0.58	-2.31
hmvhely410	0.25	0.51		0.16	0.64	-2.24
ferenc305	0.45	0.75		0.09	0.58	-2.26
Kardoskút	0.14	0.19	-3.64	0.25	0.78	-2.61
mean	0.39	0.67		0.16	0.65	-2.29

values are similar to those calculated with WATEQP (APPELO 1988) from the mean values of the chemical analyses (Table 3). The high temperature of water samples also supports this model. The main processes controlling groundwater chemistry in the intermediate flow system in the PB are dissolution of calcite and dolomite, weathering of albite, and ion exchange. Details of geochemical modelling are described in VARSÁNYI, Ó. KOVÁCS 1997).

*Water stable isotopes*

In the SLPB water samples from all systems correlate well with the local meteoric water line (Figure 11). Intermediate and regional available samples suggest these waters are not affected by evaporation processes as implied for some samples belonging to local flow system, effect that is further emphasised by the expected evaporation of wastewater and surface water stored in a local dam. Despite the restricted amount of information, available data suggest mean precipitation is heavier than groundwater, indicating

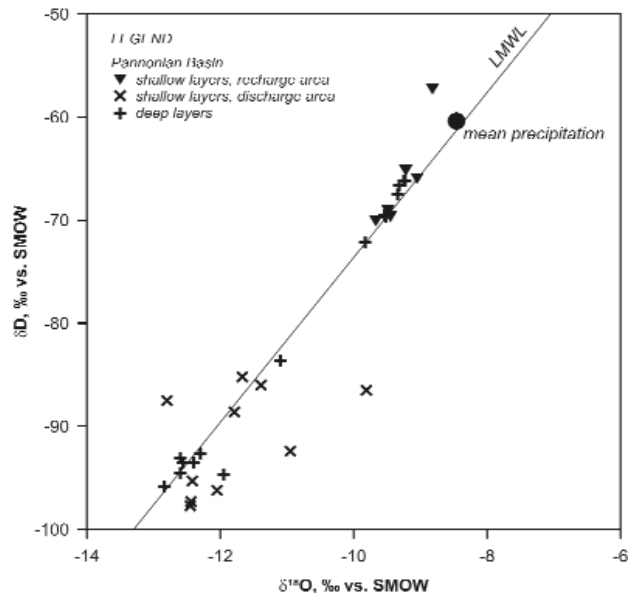


**Figure 11.** Isotopic ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$ ) composition of groundwater flows, surface and waste waters and precipitation from the SLPB. Precipitation (monthly and composite), wastewater and surface water data from SLPB were taken from CARDONA (2006).

**11. ábra.**  $\delta^{18}\text{O}$  és  $\delta\text{D}$  a felszínalatti, felszíni és szennyvízben, valamint a csapadékban a San Luis Potosí-medencében (CARDONA 2006)

recharge favoured for some specific precipitation events, probably those with high precipitation rate. Also the similar isotope values for regional, intermediate and local samples imply common climatic conditions although recharge occurred at different time.

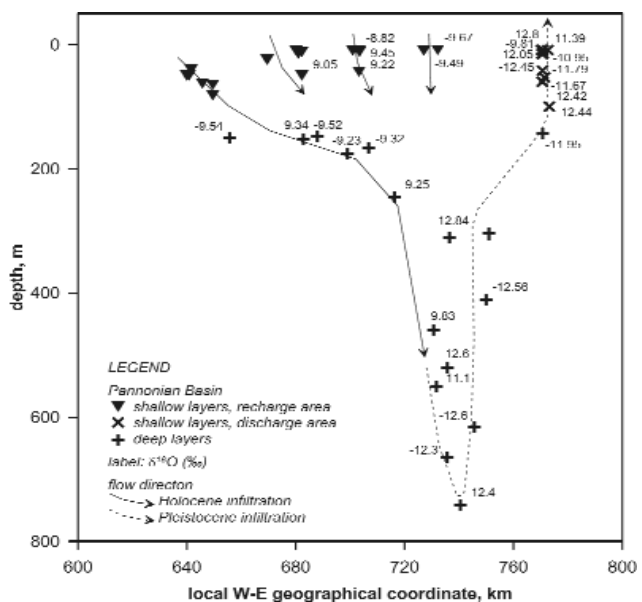
In the PB most of the samples are located on the local meteoric water line (LMWL in Figure 12). The isotopic composition of the water recharging local flow is very close



**Figure 12.** Isotopic ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$ ) composition of groundwater flows from the PB

**12. ábra.**  $\delta^{18}\text{O}$  és  $\delta\text{D}$  a Pannon-medence felszínalatti vizeiben

to that of the present mean precipitation, suggesting Holocene infiltration, regional water with similar delta values are considered to infiltrate during the Holocene. Depleted values of heavy isotope related to those of present rainfall along the flow-path suggests that infiltration of both the regional and local system discharging water has occurred in a colder climate, probably during the Pleistocene period (Figure 13). Several samples of the local discharging water are out of the LMWL where evaporation seems to be the most probable controlling factor for the isotopic composition. The isotopic shift coincides with the



**Figure 13.** Esquematic representation of groundwater flow, based on  $\delta^{18}\text{O}$  content along an east-west line of section for the PB

**13. ábra.** K-Ny irányú vízmozgás a  $\delta^{18}\text{O}$ -értékek alapján a Pannon-medence vizsgált szelvényében

highest dissolved solid content, supporting the importance of evaporation.

### Conclusions

Several components of the steady state model proposed by TÓTH (2000) as temperature and chemical constituents dissolved in groundwater were satisfactorily defined from the interpretation of thorough hydrogeological evidence within the hydrogeological setting. Natural processes were inferred with the assistance of this systemic model which also permitted to define human-related processes affecting transient groundwater flow. Data acquired for each particular flow system belong to partially penetrating withdrawal boreholes; however, they proved to be potential means to gain a reference of the broad-spectrum of the subsurface conditions, even though there is a lack of both vertical hydraulic heads and water samples at different depths, as in the SLPB.

In the SLPB and PB study areas contrasting stable isotopes and groundwater temperature values, as well as the chemical composition of groundwater were convenient tools to separate groundwater flow systems in comparative terms of different hierarchy; such identification permitted to propose flow direction, and to study contamination processes in the different groundwater flow systems. Isotope data in the SLPB suggests water from intermediate and regional available samples is free of evaporation processes; some local system water shows evaporation effect comparable to that of wastewater and surface stored water. Available isotope data suggest mean precipitation is heavier than groundwater samples implying recharge is favoured by particular high precipitation rate events. Similar isotopic values for all groundwater flow systems propose recharge under common climatic conditions present at different time.

Stable isotopes in the PB indicate that in the recharge area of local and regional flow systems a Holocene infiltration occurred, while in their discharge area a Pleistocene infiltration was established. Water samples were mainly obtained from withdrawal boreholes and dug-wells, in both study areas the variability of the chemical composition of groundwater at shallow depths is significant; at a depth below 100 m the chemical content of groundwater becomes homogeneous, and concentrations are lower than those in the local flow systems; the variability of dissolved components in the shallow layers suggests vertical inflow from above. In the PB, local flow systems are identified based on upward and downward flow directions, which can be recognized by comparatively high  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , and  $\text{NO}_3^-$  content.

The large dimensions of the geological units involved with the regional flow systems implies a long groundwater flow path, this is considered to imply a homogeneous blend near its discharge area; results suggest these flows remain isolated from anthropogenic contamination. Isolation of

deep flow systems has been found to be produced by two different hydrogeological facts; in the SLPB the transit area of the intermediate flow system (as well as the regional flow below) has been protected by the presence of a low permeability fine-grained and compact sand-layer that has prevented the seepage of local system water contaminated with sewage effluents. In the PB the regional systems have been protected in the discharge areas by the up-flow pressure of the system. As expected, it appears that groundwater in the recharge areas of the local and intermediate flow systems is more vulnerable, as indicated by the presence of  $\text{NO}_3^-$  to contamination processes than the discharge areas, where the expected low dissolved oxygen content of ascending water could play a control. Evaporation processes are interpreted to be the main control of the Na-Cl content in both study areas, as suggested by the linear regression between  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Na}^+$ . Deviations from this relation provide valuable information on processes such as human-derived contamination at shallow depths. Differences in the lithology between the PB (sedimentary basin) and the SLPB (felsic volcanic basin) can explain the contrasting saturation indices calculated for chalcedony and calcite; the lack of the expected development of  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{Cl}^-$  facies and contrasting aerobic/oxidizing conditions. However, other volcanic areas (mafic in nature) behave differently in their chemical evolution, permitting an evaluation such facies as in the Basin of Mexico City (EDMUNDS et al. 2002).

In the SLPB, results indicate undersaturation in respect of calcite, and oversaturation in respect of chalcedony. However, in the PB, equilibrium is found in respect of chalcedony, and equilibrium or slight oversaturation in respect of calcite was obtained. In the SLPB, undersaturation in calcite is explained by the lack of carbonate minerals found along the flow path; the reason for the oversaturation in the PB may be due to heterogeneity of the matrix of the aquifer units or substitutions in the pure carbonate structure, both of which should not be excluded as possible reasons. The chemical composition of analysed samples could also be explained in part by groundwater age and variation in flow patterns and climate over time.

### Acknowledgements

This work has been supported by the Scientific Research Fund (Hungary); grant numbers are T 037269 and K 60751. The Academia Mexicana de Ciencias also supported travel to carry out related discussions among the scientists involved. We also recognize the collaboration of the Earth Sciences Water and Soil Chemistry Laboratory staff of Facultad de Ingeniería-UASLP, in performing water chemical analyses for samples collected for the San Luis Potosí area; the Earth Sciences GIS lab provided help for the management of geographic information needed for the interpretation. The financial support from CONACyT-SEMARNAT (Project 2002-C01-0719) and OMFb (Project

OMFB-00954/2008) are also appreciated. The support during a sabbatical stay for J. J. CARRILLO-RIVERA in the Hungarian Geological Institute in Budapest by the National Autonomous University of Mexico and of the Dirección

General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) is most kindly acknowledged.

Parts are published with kind permission from Springer Science+Business Media B.V.

## References — Irodalom

- APPELO, C. A. J. 1988: WATEQP — A computer program for equilibrium calculations of water analyses. — Institute of Earth Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- APPELO, C. A. J., POSTMA, D. 1996: *Geochemistry, groundwater and pollution*. — A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 142–236.
- BACK, W., ROSENSHEIN, J. S., SEABER, P. R. 1988: *Hydrogeology. The Geology of North America*. — Geological Society of America. 2, 524 p.
- CARDONA, A. 2007: Hidrogeoquímica de sistemas de flujo regional intermedio y local, resultado del marco geológico en la Mesa Central: reacciones, procesos y contaminación. — *Manuscript*, PhD Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México
- CARDONA, A. 2006: Identificación y cuantificación de la recarga natural, urbana y por actividades agrícolas en las cuencas de San Luis Potosí-Villa de Reyes. — Project SEMARNAT-2002-C01-0719
- CARDONA, A., CARRILLO-RIVERA J. J. 2006: Hidrogeoquímica de sistemas de flujo intermedio que circulan por sedimentos continentales derivados de rocas riolíticas. — *Ingeniería Hidráulica en México* 21 (3), 69–86.
- CARDONA, A., CARRILLO-RIVERA, J. J., CASTRO-LARRAGOITIA, G. J., GRANIEL-CASTRO, E. H. 2008: Combined use of indicators to evaluate waste-water contamination to local flow systems in semi-arid regions: San Luis Potosí, Mexico. — Selected Papers 23 IAH International Congress, Zacatecas, México. Ed Balkema, 12, pp. 85–104.
- CARRILLO-RIVERA, J. J. 1992: The hydrogeology of the San Luis Potosí Area, Mexico. — PhD Thesis, University of London.
- CARRILLO-RIVERA, J. J., CARDONA, B. A., MOSS, D. 1996: Importance of the vertical component of groundwater flow: a hydrogeochemical approach in the valley of San Luis Potosí, Mexico. — *Journal of Hydrology* 185, pp. 23–44.
- CARRILLO-RIVERA, J. J., CARDONA, B. A., EDMUNDS, W. M. 2002: Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosí basin, Mexico. — *Journal of Hydrology* 261, pp. 24–47.
- CARRILLO-RIVERA, J. J., VARSÁNYI, I., Ó. KOVÁCS, L., CARDONA, A. 2007. Tracing groundwater flow systems with hydrogeochemistry in contrasting geological environments. — *Water, Air and Soil Pollution* 184, pp. 77–103.
- CHAUDHURI, S., FURLAN, S., CLAUSER, N. 1992: The signature of water-rock interactions in formation waters of sedimentary basins: Some new evidence. — In: KHARAKA, Y. K., MAEST, A. S. (eds): *Proceedings Water-Rock Interaction 7*. pp. 907–910. Balkema.
- EDMUNDS, W. M., COOK, J. M., MILES, D. L. 1986: Lithium mobility and cycling in dilute continental waters. — In: ARMANSSON, H. (ed.): *Proceedings Water-Rock Interaction 5*. pp. 183–187. Balkema
- EDMUNDS, W. M., CARRILLO-RIVERA J. J., CARDONA, A. 2002: Geochemical evolution of groundwater beneath Mexico City. — *Journal of Hydrology* 258, pp. 1–24.
- EDMUNDS, W. M., COOK, J. M., DARLING, W. G., KINNIBURGH, D. G., MILES, D. L., BATH, A. H., MORGAN-JONES, M., ANDREWS, J. N. 1987: Baseline geochemical conditions in the Chalk aquifer, Berkshire, U.K.: a basis for groundwater quality management. — *Applied Geochemistry* 2, pp. 251–274.
- ERDÉLYI, M. 1979: Hydrodynamics of the Hungarian basin. — Proceedings No. 18. VITUKI, Budapest, pp.1–82.
- GALVEZ, V., HERNÁNDEZ, A., BLÁSQUEZ L. 1941: Estudios hidrogeológicos practicados en el estado de San Luis Potosí. — Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Publicación 56, (Mexico, D. F.)
- KHARAKA, Y. K., CAROTHERS, W. W. 1986: Oxygen and hydrogen isotope geochemistry of deep basin brines. — In: FRITZ, P., FONTES, J. CH. (eds): *Handbook of environmental geochemistry*, Vol. 2, The Terrestrial Environment, B, pp. 305–361. Amsterdam: Elsevier.
- LAMBERT, S. J. 1991: Fossil meteoric groundwaters in the Delaware Basin of southeastern New Mexico. — In: TAYLOR, H. P., O'NEIL Jr., J. R., KAPLAN, I. R. (eds): *Stable Isotope Geochemistry: A Tribute to Samuel Epstein*, The Geochemical Society Special Publication 3, pp. 135–156.
- PARKHURST D. L., THORSTENSON, D. C., PLUMMER, L. N. 1980: PHREEQE — A computer program for geochemical calculation. — *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 80-96*, 210 p.
- RÓNAI, A. 1985: The Quaternary of the Great Hungarian Plain. — *Geologica Hungarica series Geologica* 21, pp. 57–81.
- STRETTA, E. J. P., DEL ARENAL, R. 1960: Estudio para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de San Luis Potosí. — *Manuscript*, Applied Sciences Institute, UNESCO and Instituto de Geofísica, UNAM, Internal Report.
- TRISTÁN, G. M. 1986: Estratigrafía y tectónica del graben de Villa de Reyes, en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato, México. — *Manuscript*, Inst. Geol. Universidad. A. de S.L.P., Foll. Tec. 107
- TÓTH, J. 1995: Hydraulic continuity in large sedimentary basin. — *Journal of Hydrogeology* 3, pp. 4–16.
- TÓTH, J. 2000: Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. — *Boletín Geológico y Minero* 111 (4), pp. 9–26.
- TÓTH, J., ALMÁSI, I. 2001: Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. — *Geofluids* 1, pp. 11–36.
- VARSA NYI, I. 1975: Clay minerals of the Southern Great Hungarian Plain. — *Acta Mineralogica Petrografica Szeged*, 22 (1), pp. 51–60.
- VARSA NYI, I., Ó. KOVÁCS, L., KÁRPÁTI, Z., MATRAY, J. M. 2002:

- Carbon forms in formation waters from the Pannonian Basin, Hungary. — *Chemical Geology* 189, pp. 165–182.
- VARSÁNYI I., Ó. KOVÁCS L. 2001: The source of sodium in groundwater, Pannonian Basin, Hungary. — In: CIDU, R. (ed.) *Proceedings of Water-Rock Interaction* 10, pp. 345–348., Balkema.
- VARSÁNYI, I., Ó. KOVÁCS, L. 1994: Combination of statistical methods with modelling mineral-water interaction: a study of groundwater in the Great Hungarian Plain. — *Applied Geochemistry* 9, pp. 419–430.
- VARSÁNYI, I., Ó. KOVÁCS L. 1997: Chemical evolution of groundwater in the River Danube deposits in the southern part of the Pannonian Basin (Hungary). — *Applied Geochemistry* 12, pp. 625–637.
- VARSÁNYI I., MATRAY, J. M., Ó. KOVÁCS L. 1999: Hydrogeochemistry in two adjacent areas in the Pannonian Basin (South-east Hungary). — *Chemical Geology* 156, pp. 25–39.
- VICZIÁN, I. 1982: An expanding mixed-layer clay mineral in Upper Pannonian to Pleistocene fine-grained clastic rocks of the borehole Pusztaotlaka I/P (SE Hungary). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1980. évről*, 449–457.

## Inversion of the Geoelectric Measurements in the Bábaapáti Area (South Transdanubia, Hungary), Results about the Granite Surface and the Overburden

LÁSZLÓ SÓRÉS, LÁSZLÓ VÉRTESY, ÁGNES GULYÁS, ZOLTÁN TÓTH

Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary, H-1145 Budapest Kolumbusz u. 17–23.



**Keywords:** basement, depth, Hungary, resistivity, sediment, South-eastern Transdanubia, thickness, transient electromagnetic sounding, vertical electric sounding

### Abstract

In the Bábaapáti area besides several 2D multielectrode DC profiles, hundreds of time domain electromagnetic and vertical electric soundings were measured from 1997 to 2005. The aim of the geophysical survey was to study the morphology of the granite surface and the internal structure of its overburden. For the interpretation a new procedure was used: a special joint inversion of ground-based and borehole geophysical data. With the applied procedure the ambiguity coming from the phenomenon of equivalence was significantly reduced. The paper outlines the technique of geophysical inversion, explains the nature of equivalence and presents the “Surface–Borehole Optimisation Procedure” that increases the reliability of the calculated layer parameters. Demonstrating the results an overview of the structural build-up of the area is given with the details of geoelectric basement geometry and the resistivity distribution of the overburden. The letter is in close connection with the hydraulic conductivity of the layers that cover the granite surface. Inversion results from more than 800 soundings are sufficient for the detailed 3D reconstruction of the overburden structure.



### Geophysical Inversion—an Easy Approach

#### *Gradient Method*

During geophysical measurements instead of directly observing the geological environment the physical response of the neighbouring rocks is examined. The key properties of the geological environment are determined from the measured geophysical parameters. The possibilities of understanding the complex reality are limited. For this reason very often simplified models are used. In the practice in most cases it means horizontal layer models, 2 or 3 dimensional grids. Geophysical data that would be collected over such simple models can be calculated very precisely. This procedure is called forward modelling. However, the aim of geophysical measurements is just the opposite: a model is looked for which can produce the observed data with the least possible difference. This is geophysical

inversion. For any model the difference between measured and synthetic data can be determined. The aim of the inversion is to minimise the difference (fitting error) by means of applying systematic changes on the model parameters (thickness, resistivity, seismic velocity etc). From mathematical point of view it is an optimisation process, where the target function representing the fitting error is minimised. The theory of optimisation is a very large area, and many methods are known. In this paper the Marquard inversion is presented, as it was extensively used during the processing of the geoelectric data collected in the Bábaapáti area.

Figure 1 shows the results of the inversion of a time domain electromagnetic sounding over a horizontally layered media with three layers. It can be assumed, that the resistivity of the upper and lower layers and the depth of the basement are known. The thickness and resistivity of the middle layer is looked for, so there are two unknowns. Using

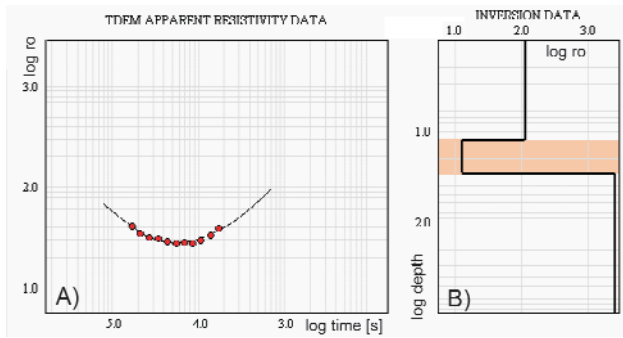


Figure 1. Inversion of time domain electromagnetic sounding  
A) apparent resistivity data, B) inversion data

1. ábra. Transziens elektromágneses szondázás inverziós feldolgozása  
A) látszólagos fajlagos ellenállás - idő görbe, B) az inverzióval meghatározott rétegmodell. Piros pontok = mért adatok, fekete vonal = szintetikus görbe. time = idő, depth = mélység, ro = fajlagos ellenállás, TDEM apparent resistivity data, Transziens (TDEM) = látszólagos ellenállásadatok, Inversion data = inverziós adatok

modelling software the difference between measured and simulated data for any combination of thickness and resistivity can be calculated. The deviation—target function—can be visualised as a two-dimensional surface. The model with the smallest deviation can be found at the lowest point of the surface. The process that finds this location with a step-by-step approximation is called the optimisation method. (Figure 2) It usually requires several iterations before getting the final solution from the start model. The program determines the gradient of the surface at the current position, and then it moves to the dip direction. It

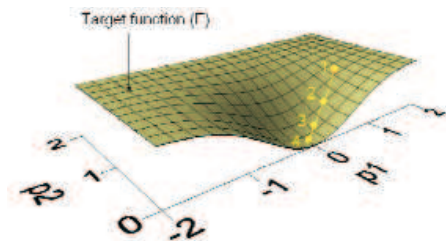


Figure 2. Optimisation with gradient method  
Step by step the program moves to the maximum gradient direction until it finds the optimum point. The p1 and p2 parameters provide the thickness and resistivity of the Layer 2 of the model

### 2. ábra. Optimalizáció gradiensmódszerrel

A startmodellből kiindulva a program a felület legnagyobb dőlésének irányába lépked addig, amíg meg nem találja a minimumpontot. A p1 és p2 paraméter szolgáltatja az eredménymodell 2. rétegének vastagságát és ellenállását. Target function = célfüggvény

is repeated until the deviation falls under a predefined limit, or the maximum number of iteration is reached. At the minimum location parameters p1 and p2 give the thickness and resistivity. In practice the number of unknowns is bigger, and the surface representing the target function is not two-dimensional. In the case of 2D or 3D geophysical inversions the number of unknowns can exceed several hundreds or thousands.

## Equivalence

Most geophysical data users know about equivalence, the phenomenon that undermines the reliability of geophysical results. However the real meaning of the word and the nature of it is not always known. In this chapter the background of equivalence is going to be explained. By a look at a cross section through the minimum of the surface in Figure 2, a curve similar to a parabola is seen. It seems to be an easy task to find the minimum location of this curve that is coincident with the optimum model. (Figure 3) The problem is that measurement data are always contaminated with observation error. If the measurement and the inversion are repeated it will always be a bit different curve with a bit different minimum. It has to be realised, that it is impossible

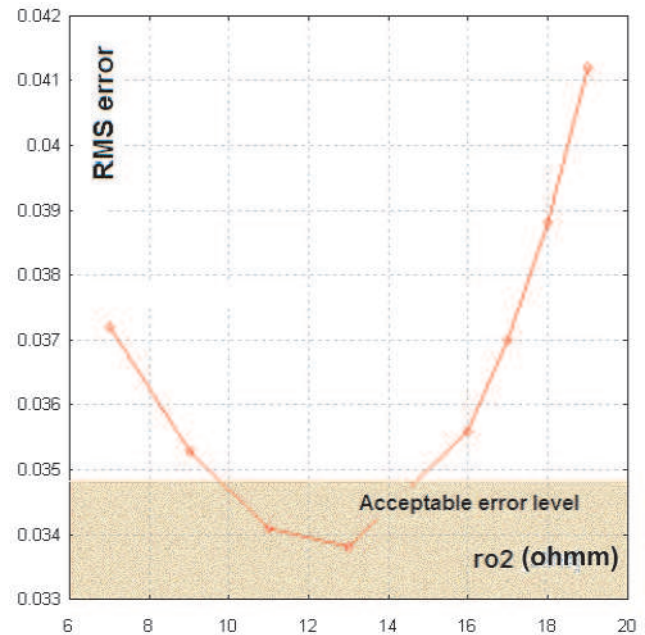


Figure 3. Measurement error and the range of equivalence

Due to measurement errors the optimum solution cannot be differentiated from the models below the acceptable error level. The target parameter can only be determined with an error that is the range of equivalence

### 3. ábra. Mérési hiba és az ekvivalenciatartomány

A mérési adatok hibája miatt a valódi optimum nem választható el az elfogadható hibaszint alá eső megoldásoktól. A keresett paraméter csak az ekvivalenciatartományon belül eső hibával határozható meg. RMS error = négyzetes középérték hiba, Acceptable error level = elfogadható hibahatár

the select the “true” solution from those that are under the acceptable error level. All those models are equivalent. The range of equivalence depends on the shape of the target function. If the surface has a sharp minimum, the range is narrow; it can be said that the solution is sensitive to the parameter. If the surface is flat around the minimum the range of equivalence is wide. In the example of Figure 3 the range is between 10 and 15 ohmm.

Parameter sensitivity is extremely important from the point of model reliability. In the case of the presented inversion method calculated gradients provide exactly this useful information. When returning to the two-dimensional surface an isometric minimum zone is seen. In the practice,



minimum zones in most cases have elongated shape. Simultaneously changing resistivity and depth it is possible to move along the axis of such a minimum valley, and to produce endless number of mathematically perfect solutions. In terms of electromagnetic theory by changing the thickness of a relatively deep layer its resistivity variations can be compensated so, that the current field do not change significantly.

Another serious problem is that minimums seldom stay alone in the hyperspace. Gradient methods do not provide a global optimum; solutions get stuck in the closest minimum. To avoid this situation global optimisation methods are used, but those are out of the scope of this paper.

### Only in Geophysics?

Equivalence is not a phenomenon isolated in geophysics. This is only one manifestation of the uncertainty principles embedded in the natural environment. For example the statement that the resistivity and thickness of a deep layer can be determined independently only with a certain error is very similar to that the location and the velocity of a particle cannot be simultaneously known to arbitrarily high precision. Of course, in geophysics it is not the Heisenberg uncertainty principle in the background, but it is a fact, that thickness and electric conductivity are somewhat replaceable in the electromagnetic equations. In reality their product can be determined precisely. To prove that not only geophysicists are penalised with this punishment, consider the following theoretical experiment: By the analogy of Vertical Electric Soundings (VES) imagine a Vertical Hydraulic Sounding (Figure 4),

During this imaginary measurement water is pumped into the earth at location "A" through a shallow borehole. From borehole "B" the same amount of water is pumped out. It can be assumed, that there are homogeneous horizontal layers, there is no leakage, and money doesn't matter. In the centre of the setup the water-level difference between "M" and "N" boreholes is observed. The measurement is repeated

several times with longer and longer A–B distance until a reasonable sounding curve is recorded. This curve would precisely reflect the hydraulic conductivity of the layers influenced by the water-current field. The strong mathematical analogy between electric and hydraulic current fields is well known. Using any kind of VES inversion program the hydraulic conductivity of the layers could be determined. (Only some calibration would be needed.) Furthermore, for some rock types strong relation exists between the hydraulic and electric petrophysical properties. There is no reason to think that a similar 3 layered hydrogeological model would not show the same equivalence as the electric one. Simultaneously changing the hydraulic conductivity and thickness of the middle layer a series of equivalent models could be produced.

The best method to decrease the uncertainty of the mathematical solution is to set up an overdetermined system, or increase the level of overdetermination. This can be achieved by increasing the amount of measured data, the number of measurement layouts and the observed physical parameters. In geophysics this can be done at a relatively low cost. Though, possibilities are not always used as much as they should be. Hydrogeology is in a worse situation. Increasing the number of measured parameters and the amount of data has a very high cost, and all this create less favourable conditions. This is a strong limitation that prevents hydrogeologists from using inversion techniques.

During the processing and interpretation of the geoelectric data at the Üveghuta area a special care was taken to handle the problem of equivalence. The precision of the granite depth in the geophysical model is strongly influenced by the build-up of the clay layer sitting on top of it. To reduce this influence an attempt was made to integrate geophysical and geological information to the inversion process as much as possible.

## Overview of the Applied Processing Techniques

### Inversion Strategy

The complex interpretation of the ground-based geophysical data set collected in the Üveghuta area is based on a well-defined strategy. One of the most important components of it is the geoelectric model that was derived from well-logging and geological results. The geoelectric model set up in 2003 was refined in 2006 (Borehole–Surface Model Optimisation, SŐRÉS 2006).

The method of Borehole–Surface Model Optimisation connects ground-based electric and electromagnetic measurements, geophysical well-logs and available geological information in a quantitative way. Layer geometry defined from the adjacent ground-based and borehole geophysical measurements were extended to the inter-borehole space by interpolation. Each 1D model was adjusted to the borehole results by using constraints given by

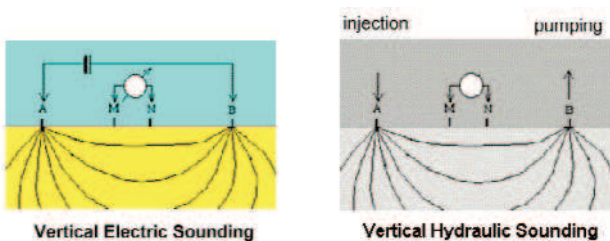


Figure 4. Imaginary Vertical Hydraulic Sounding, an analogy after VES measurements

A, B = current electrodes, or water injection/pumping points, M, N = potential electrodes, or water head measuring locations

#### 4. ábra Képzeltbeli hidrogeológiai szondázás a VESZ-mérések mintájára

Vertical Electric Sounding = vertikális elektromos szondázás, Vertical Hydraulic Sounding = vertikális hidraulikus szondázás, injection = besajtolás, pumping = szivás. A, B = tápelektrodák vagy vízkivételi és beviteli pontok, M, N = potenciáelektrodák vagy vízszintmérő pontok

the interpolated geometry. For the start model the granite surface defined in an earlier processing campaign was used (SÓRÉS 2003). In the construction of smooth granite surface depth information from boreholes (ZILAHÍ-SEBESS 2005) and the location of outcrops provided additional constraints for the 1D inversions. This granite surface was used as a reference level to build up the start model at each measuring point. Depth of the granite was modified only if the fitting error was too high, or the next inversion produced contradictory layer-resistivity pattern.

To further reduce uncertainties joint and coupled inversions were carried out. Joint inversion is the process when data sets from different resources are inverted simultaneously. It can be talked about coupled inversion, when the result from one inversion is used as constraints in the following one. In this way inconsistent results can be filtered out and estimation errors significantly diminished.

Joint inversions of VES (Vertical Electric Sounding) and TDEM (Time Domain Electromagnetic Sounding) measurements proved that along the ridges both methods systematically show the same results. Sparse VES soundings in this area add little contribution to the overall picture, so to simplify the process only TDEM sounding results were integrated into the final model. In the narrow valleys, due to 3D effects that strongly influence TDEM measurements VES results are more reliable and for this reason exclusively used.

In order to qualify the results error estimation was carried out by Monte Carlo simulation, and the concept of *stress factor* was introduced. This quantity is derived from the difference between the fitting error of the constrained and the free inversions. It can be interpreted as the gap, or stress between the geological preconception and the mathematically optimal solutions. It was proved, that the final solutions—apart from a few stations—do not contain systematic deviations comparing to the free inversion results. It was also evident, that reducing the stress factor would give a rise to model errors. Without forcing the conceptual geoelectric model free inversions would give smaller thickness for the overburden along the ridges and larger thickness in the valleys. An obvious reason for this is the topographic effect. At those locations where the stress factor turned out to be too high the constraints were released. These places are typically at the narrow valleys in the vicinity of outcrops, where the conceptual model is not valid anymore.

2D multielectrode measurements at the hillsides and the bottom of the valleys revealed a very detailed picture of the thin cover above the granite surface. At the same time, 2D inversions are just as much influenced by equivalence as 1D VES or TDEM data. Coupled inversions of TDEM and 2D multielectrode measurements helped to eliminate former contradictions and established the common model. 2D multielectrode measurements had a mayor role in the delineation of granite outcrops. On the 2D profiles from coupled inversions outcrop locations were clearly marked (overburden is thinner than 2 m). These points were used as

constraints in the granite surface interpolation. The processing steps are as follows:

1. Definition of the granite surface based on the former geoelectric model.
2. Refinement of the model by “Borehole–Surface Model Optimisation”.
3. Extending the conceptual model by interpolation between boreholes.
4. Running constrained inversions.
5. In case of poor fitting, or contradiction model correction and re-inversion.
6. Definition of stress factor.
7. In case of high stress factor model correction and re-inversion.
8. Coupled inversion of TDEM and 2D multielectrode measurements.
9. Definition of outcrop locations as constraint points.
10. Map generation.
11. Error estimation by Monte Carlo simulations.

### The Conceptual Geoelectric Model

According to the electric well-logs the resistivity of the loess depending on its water saturation extends from several 10 ohmm to 100 ohmm. Over the groundwater level the resistivity variation cycles of the sediments are superimposed on a monotonously decreasing trend. This trend is related to the average moisture content of the loess that is growing downwards. Due to the higher level of

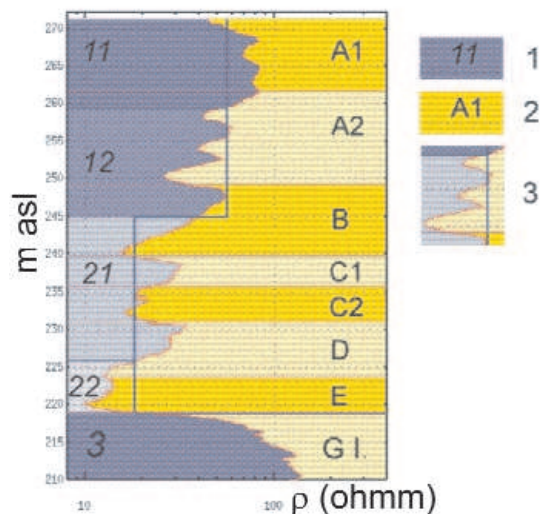


Figure 5. General geoelectric model and well-log zoning illustrated with a specific borehole

1—geoelectric layer identified by ground-based geophysical measurements, 2—well-log zoning (A–E sedimentological units and G I geotechnical unit; ZILAHÍ-SEBESS et al. 2000a–c), 3—resistivity well-log (red) and estimated interval resistivity curves (blue)

5. ábra. Általános geoelektromos modell és a mélyfúrás-geofizikai zonáció egy konkrét fúrás adataival szemléltetve

1 – a felszíni geoelektromos mérések alapján elkülöníthető geoelektromos réteg, 2 – mélyfúrás-geofizikai zónabeosztás (A–E szedimentológiai egységek és G I geotechnikai egység; ZILAHÍ-SEBESS et al. 2000a–c), 3 – mélyfúrás-geofizikai ellenállásgörbe (piros) és a becsült intervallumellenállás-görbe (kék). m asl = tengerszint feletti magasság

diagenesis in the deeper zone permeability is lower and the moisture content increases. (VÉRTESY et al. 2003) Additionally, the clay content of the lower loess formation is also higher. All these are responsible for the overall resistivity trend in the entire area. Resistivity well-logs show twice as high average resistivity in the depth range of periods A+B than in C+D+E (Figure 5).

Parameters of the modified geoelectric model are listed in Table 1. Resistivity values are medians calculated from hundreds of inverted layer parameters. As upper layers due to erosion are often missing, thicknesses are shown as maxima. Table 1 and 2 present a general coincidence between the geoelectric layers and the geophysical well-log zoning.

These relations are valid over the entire Site area with the exception that zone A1 and C1 in some places might appear in Layer 12. The conductive Layer 22 apart from zone E (Tengelic Red Clay Formation) also contains the palaeosol layer with low loess content at the bottom of zone D.

Relations between the geoelectric layers, the sedimentologic zonation of the Quaternary sediments given by MARSÍ et al. 2004, and the main geological units are shown in Table 3.

Table 1. Parameters of the modified geoelectric model

Geoelectric layer	Characteristic resistivity $\rho_{0X}$ (ohmm)	Thickness (m)
11	50	<25
12	35	<25
21	27	<18
22	12.5	<11

Table 2. Connections between ground-based and borehole geophysical divisions

Levels from ground-based measurements	Levels from well-logs
Surface of 11	surface of A1
Surface of 12	inside A2
Surface of 21	middle of B
Surface of 22	bottom of D
Surface of 3	surface of G1

Table 3. Relation between geological levels of the Quaternary sediments and levels defined by ground-based geophysical measurements (extended after MARSÍ et al. 2004)

Geoelectric layer	Well-log unit	Stratigraphical section	
11	A1	section L1 L2	
Lower part of 11 + upper part of 12	A2	section between M1' and BA bc boundary	
Lower part of 12 + upper part of 21	B	section between BA bc boundary and MB bc boundary	
Lower part of 21 + upper part of 22	C1	section between MB bc boundary and PH1 bc boundary	
	C2	section between PH bc boundary and PH2 bc boundary	
	D	section between PH2 bc boundary and PD bc boundary	
Lower part of 22	E	section between PD bc boundary and G1 top	
3	G1	below G1 top	
		Young Loess Series (=Mende Loess 1'm)	
		Old Loess Series (=Paks Loess 1'm)	
		Tengelic Red Clay 1'm	

L1-L2 = loess horizons, MF = Mende Upper Soil Horizon, BA = Basaharc Lower Soil Horizon, MB = Mende Basal Soil Horizon, PH1 = Paks Sandy Soil 1 Subhorizon, PH2 = Paks Sandy Soil 2 Subhorizon, PD = Paks Double Soil Horizon

### Adjusting the Conceptual Model to Boreholes (Borehole–Surface Optimisation)

In the range of sediments electric well-logs show significant correlation. (ZILÁHI-SEBESS, SZONGOTH 1997, ZILÁHI-SEBESS et al. 2000a). The fine resistivity variation patterns of the palaeosol layers above the granite surface can be precisely correlated even between relatively distant boreholes (Figure 6). However, this correlation can not be utilised easily in the processing, because the sedimentary sequence is arbitrarily truncated by the erosion, and for this reason the geoelectric layer configuration is very different at each location. On the other hand, there is a reasonable surface of the geoelectric basement that can be used to build up the layering from bottom to top. Using the granite depth, the layers from the conceptual model and the surface height a start model can be constructed that is quite close to the picture from the electric well-logs. Running constrained inversion layer resistivities can be refined and the requirements of the geologic concept and the electromagnetic equations can be met.

Based on the electric well-logs it is clear that the resistivity of the overburden is continuously changing. In the traditional meaning there is no possibility to talk about layers. Anyway, during processing layers have to be defined. It is not a contradiction, but rather an abstraction. The following definition for layers can be used: if the resistivity of an interval is equal to the average resistivity of the electric well-log in the same range; this interval is a substituting layer. Using this definition exact layer tracing is possible. Unfortunately, such intervals can be set up in many ways, and unlimited number of equivalent solutions can exist (an other type of equivalence). It is desirable, that the automatic layer definition gives similar results to what an interpreter geophysicist would define. To achieve this, another definition for layer boundaries is needed: layer boundaries are locations where the physical conditions change more rapidly in comparison to their environment. Precise layer boundary determination can be done using the following procedure:

1. Do smooth filtering on the resistivity well-log.
2. Select intersections between the original and smoothed resistivity curve.
3. Join layers that are too thin.

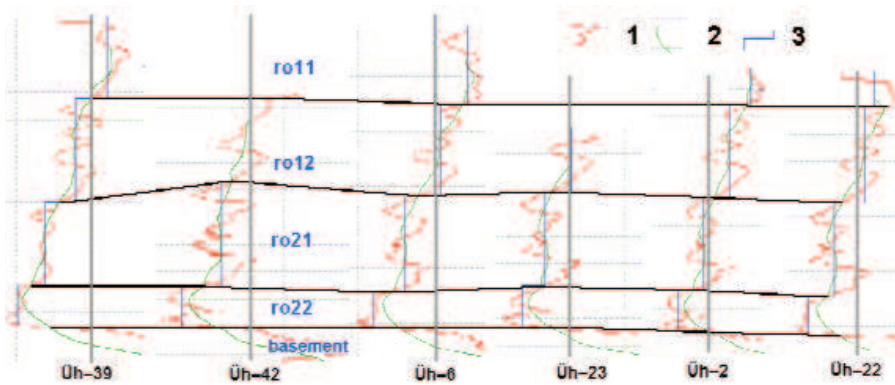


Figure 6. Substituting geoelectric layer model and resistivity well-log (Geo-Log Ltd.)

1—resistivity well-log, 2—smoothed resistivity well-log, 3—geoelectric layer model, 11, 12, 21, 22—layer codes

6. ábra. A helyettesítő rétegmódel és az elektromos mélyfúrás-geofizikai görbék (Geo-Log Kft.)

1—mélyfúrás-geofizikai ellenállásgörbe, 2—simított mélyfúrás-geofizikai ellenállásgörbe, 3—helyettesítő rétegmódel, 11, 12, 21, 22—a rétegek kódja

Figure 7 shows a layer sequence that was defined this way. Some uncertainties in joining layers are still present, but it can be handled, if it is done in a consistent way.

The resistivity of any layer that was defined by the above procedure can be calculated as the average of the adjacent resistivity log section. In practice it is more realistic to calculate the reciprocal of the average conductivity, because using TDEM method the measured value is closer to this. The sequence of these layers (substituting layer model) is a special representation of the resistivity well-log that is directly comparable to the ground-based geophysical results. The inversion has to be carried so, that it gives the closest solution to the

substituting model. As an extension of model distance ( $D1$ ) in inversion theory, the concept of Borehole–Surface Model Distance ( $Dff$ ) is introduced.  $Dff$  decreases with the growing similarity between the substituting layer model and the ground-based results. Model Distance is calculated from the difference between the matching parameters of two models. During the calculation of  $Dff$  apart from the Model Distance the ratios of subsequent layer resistivities are also considered. On a log-log scale resistivity–depth function representing the Model this ratio can be visualised as the dip angles of the lines connecting the edges of the stairs (Figure 8).  $D1$  and  $D2$  disappear (equal to zero) when both models are the same.  $D2$  also disappears when the shape of the two models is the same, but there is a constant multiplication factor between the resistivities. (The two models are offset on the log-log diagram.) During Borehole–Surface Model Optimisation the sum of  $D1$  and  $D2$  is minimised.

From the correlation matrix of the Marquardt inversions it can be seen that the coupling between the model parameters is very strong. The most sensitive parameter is  $ro22$ , the resistivity of Layer 22. It is called the Control Parameter. Fixing the geometry a series of inversions is done with different fixed  $ro22$  and the changes of  $Dff$  is observed. The Control Parameter at the minimum of the Borehole–Surface Model Distance and the geometry defines the valid geoelectric model at the given location.

For the sake of legibility on Figure 8 the lines connecting the edges of the resistivity–depth functions are shown. The step function itself (the traditional way of showing layer models) is shown on the insert. It is clearly seen, that when inversions are done with  $ro22$  fixed at different values the free parameters start to change. The model with the smallest  $Dff$  is the most similar to the substituting layer model. It is also noted, that an improperly fixed  $ro22$  may cause unrealistic layer configurations due to a compensation effect, though fitting between measured and synthetic data is still excellent. Similar interpretation results at places relatively far from boreholes indicate the necessity of model modifications.

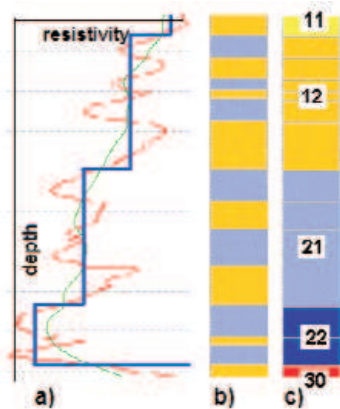


Figure 7. Derivation of substituting layer model from electric well-logs by smooth filtering and joining

a) electric resistivity curves: red = resistivity well-log, green = resistivity log after smooth filtering, blue = layer model; b) detailed layering determined by the intersections of the red and green curves; c) substituting geoelectric model with the joint layers: yellow and orange = low resistivity, blue and dark blue = medium resistivity, red layer = geoelectric basement

7. ábra. Analóg rétegmódel származtatása elektromos mélyfúrás-geofizikai adatokból, simító szűrés és rétegösszevonás útján

a) fajlagos ellenállás görbék: piros vonal = mélyfúrás-geofizikai, zöld vonal = simított görbe, kék vonal = rétegmódel; b) a piros és zöld görbe metszéspontjai alapján kijelölhető összes réteg; c) összevont rétegek a geoelektromos modell rétegekódjaival: sárga és narancs = kis ellenállás, kék és sötétkék = közepes ellenállás, pirossal jelölt réteg = geoelektromos aljzat

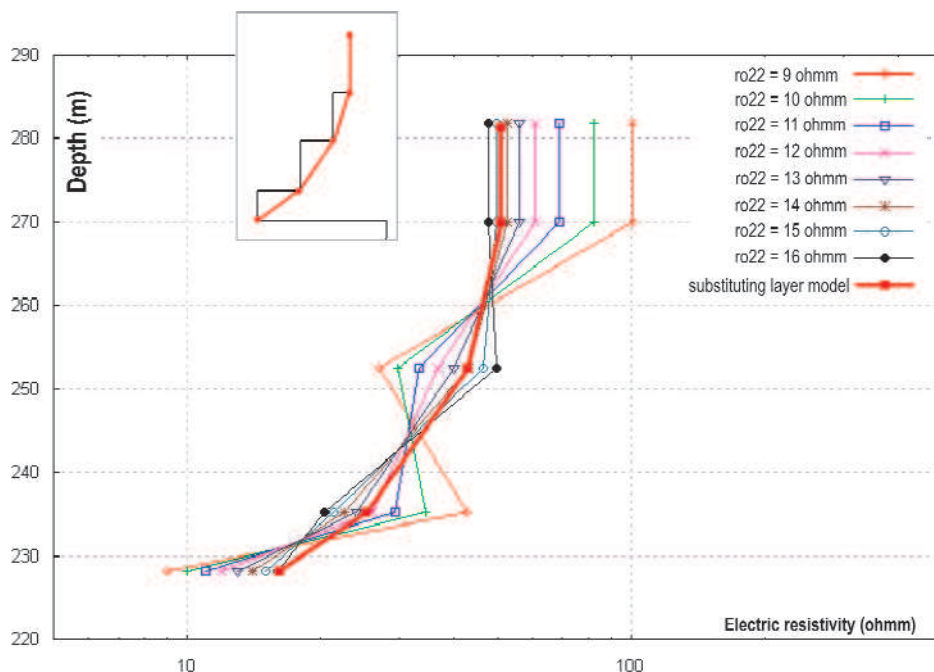


Figure 8. Substituting model with the lowest Dff value, and equivalent models calculated from ground-based measurements (Borehole Üh-22)  
The best model is given by ro22=14 ohmm

8. ábra. A legkisebb Dff-fet mutató rétegmodell és a felszíni mérésből számolt ekvivalens modellek (Üh-22 fúrás)

A legjobb megoldást a ro22=14 ohmm adja; Depth = mélység, Electric resistivity = elektromos ellenállás, substituting layer model = analóg rétegmodell

The substituting model and the Control Parameter were defined at the location of all boreholes, where good-quality resistivity logs were available (Table 4). This way for each borehole three thicknesses ( $d22$ ,  $d21$ ,  $d12$ ) and one resistivity

value ( $ro22$ ) were defined. The distribution of these parameters was determined by kriging interpolation all over the Site area and stored in surfer grids. From these four parameters plus the granite depth and the surface elevation the start model for the

Table 4. Model parameters determined from Borehole-Surface Model Optimisation using resistivity logs and TDEM electromagnetic sounding data

Borehole	Point code	Calculated model parameters							
		ro11	d11	ro12	d12	ro21	d21	ro22	d22
Üh-2	N600-E520	51.4	14.0	35.0	16.8	23.2	16.9	15.0	7.3
Üh-22	N600-E510	52.5	11.7	43.2	17.5	22.6	17.2	14.0	7.1
Üh-23	a-3	56.6	12.8	26.6	16.8	26.4	17.2	16.0	7.7
Üh-28	N575-E500	45.7	11.5	30.5	10.6	19.9	14.4	11.0	7.6
Üh-3	N590-E500	51.3	12.1	27.2	11.5	21.3	17.0	10.5	8.7
Üh-36	N615-E530			192.9	4.4	18.9	15.5	12.5	2.7
Üh-39	N999-E003	63.7	19.0	80.8	19.0	38.2	15.0	9.0	7.7
Üh-4	N610-E500			14.7	5.1	28.0	12.6	14.0	7.0
Üh-42	N625-E605			88.0	26.7	52.2	19.2	12.0	7.4
Üh-44	N565-E530			23.5	6.6	24.5	10.5	15.0	4.0
Üh-45	N540-E540	63.2	12.5	43.3	16.5	23.8	17.5	12.0	7.0
Üh-45	N540-E540	63.2	12.5	43.3	16.5	23.8	17.5	12.0	7.0
Üh-5	N600-E485	40.6	17.0	27.0	15.0	20.9	11.0	13.0	11.0
Üh-6	N595-E545	60.3	13.0	42.6	17.0	20.7	17.5	10.5	6.3
Üh-7	N550-E520	50.8	10.9	39.1	10.4	21.6	17.3	17.0	7.8
Üh-8	e-2			43.0	20.0	20.4	14.0	12.5	5.5

roX = resistivity of layer X (ohmm), dX = thickness of layer X (m)

inversions can be constructed at any location. These constraints ensure that information from resistivity well-logs are integrated into the interpretation.

As long as the entire data set contains almost 900 soundings the task of processing had to be automated. To handle this Unix Shell Scripts and other utilities were prepared to perform selections calculation of layer numbers, construction of start models and running inversions. For the quality control of the results coming from processing chain a series of resistivity profiles in N–S and E–W direction were prepared and visually reviewed. Where the thickness of sediments exceeded 20 m the process worked very well. In the valleys—due to improper start models—the extended geoelectric model failed to give acceptable solution. In these areas manual processing was needed, or former results accepted. In the transition zone the manual adjusting of the Control Parameter and subsequent constrained inversions provided acceptable results.

### Quality Control of Inversion Results and Estimation of Model Parameter Errors

#### *Stress Factor Based Quality Control*

During Borehole–Surface Model Optimisation constrained inversions are carried out. The results also include a priori information available from the site area. However, these results—just because of the constraints—do not represent the best fitting solutions that can be achieved. The difference between fitting errors (deviation between

measured and synthetic data) from constrained and free inversions can be interpreted as an indicator that is proportional to the “stress” between a conceptual interpretation and another one with no preconceptions. If the constraints are unset and the inversions are restarted, the stress will be released and the output will be a set of mathematically more perfect solutions that are not necessarily acceptable from geological point of view. The difference between these two solutions is called the *stress factor* that tells about the contradictions between the data and the forced solutions.

Figure 9 shows the probability distribution of fitting errors from 892 inversions (all datasets measured since 1997). Constrained inversions produce higher error level. Medians are 0.0327 and 0.0253 (3.27% and 2.53%). Their difference is the average stress factor: 0.0074 (0.74%). This increase of error is the price of forcing similarity between models from the ground-based data and the electric well-logs.

At stations with too high stress factor—except a few cases—model correction was necessary. For example, the basement depression with E–W axis 150 m south of Borehole Üh–42 is not aligned with the conceptual model, but elimination caused extremely high stress factor, so it was integrated to the final version of the granite surface map. Based on the magnitude of the stress factor the following categories were introduced:

- Below 0.01 (1%) small.
- Between 0.01 and 0.02 (1–2%) moderate.
- Between 0.02 and 0.03 (2–3%) high.
- Over 0.03 (3%) extremely high.

Spatial distribution of the stress factor is shown on Figure

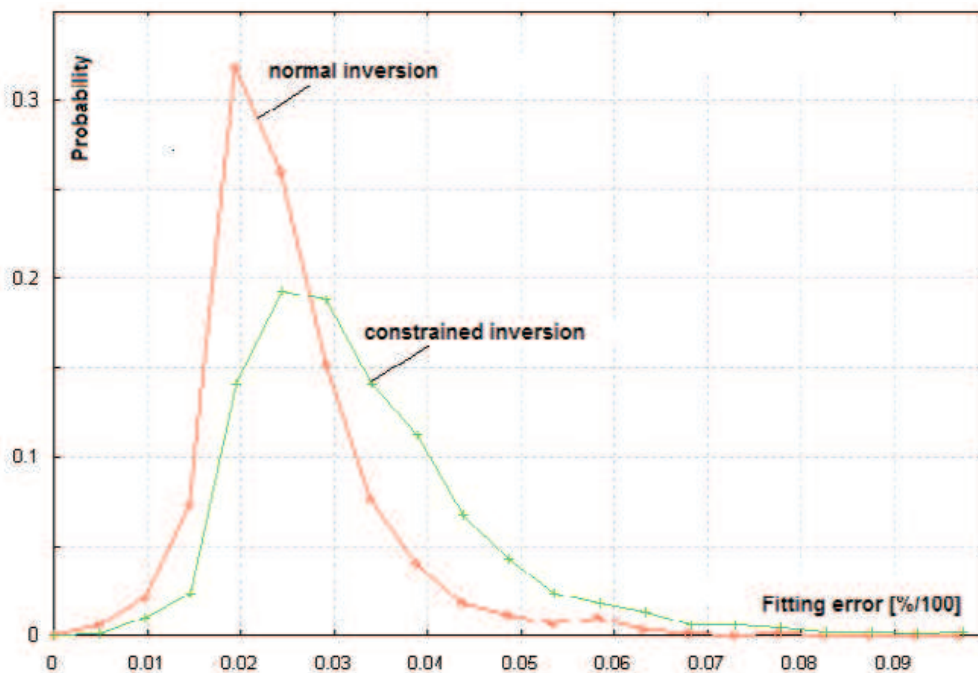


Figure 9. Probability of fitting error level in case of constrained and normal inversion

9. ábra. Illeszkedési hibák előfordulási valószínűsége kényszerített és nem kényszerített inverzió esetén  
Probability = valószínűség, Fitting error = illeszkedési hiba, constrained inversion = kényszerített inverzió, normal inversion =  
normál (nem kényszerített) inverzió

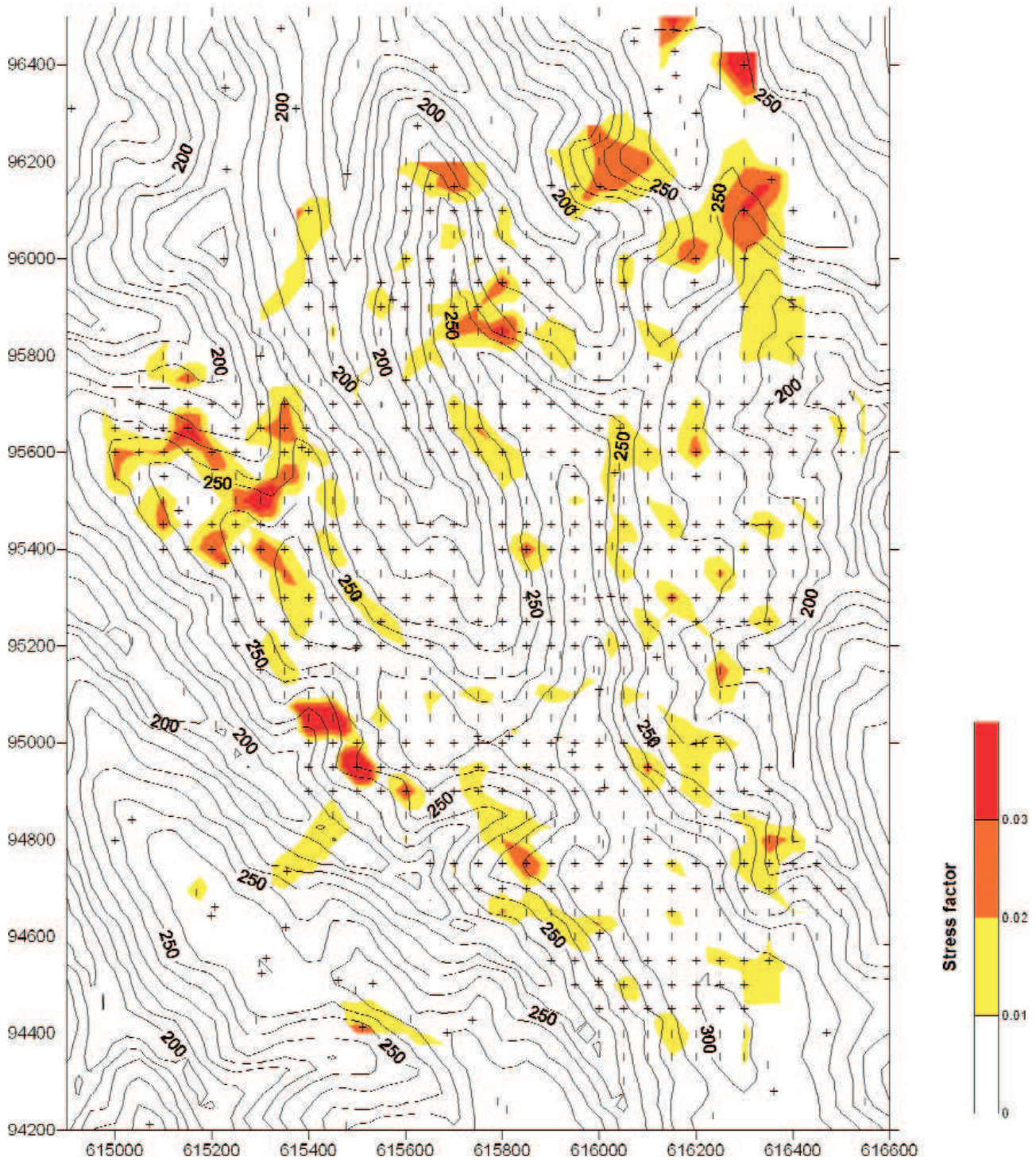


Figure 10. Areal distribution of the stress factor

Stress factor: below 0.01 low, between 0.01 and 0.02 moderate, between 0.02 and 0.03 high, over 0.03 extremely high; coordinates are metres in EOVS system (EPSG:23700); contour line values = metres above sea level (Baltic System), contour line spacing = 10 m

10. ábra. A stresszfaktor területi eloszlása

A stresszfaktor értéke 0,01-ig kicsi, 0,02-ig mérsékelt, 0,03-ig nagy, 0,03-tól kezdve nagyon nagy; a magas és nagyon magas értékek jellemzően az erősen tagolt domborzatú területeken fordulnak elő; szintvonalak = m Bf, szintvonalköz = 10 m; Stress factor = stresszfaktor

10. In most places its magnitude is small, around 0.01 (1%). There are only a few places where it exceeds 0.02 (1–2%). These areas are typically step slopes, where high stress factor is caused by 3D effects. Combination of flat surface and high

stress factor most probably comes from invalid substituting model or data error (poor quality measurement). The two different types of inversion process provide two different basement maps. Free inversions place the granite depth

below the ridges a bit higher, at the valleys a bit lower. This can be explained by the weakness of the hypothesis of infinite horizontal layering. At the ridges due to the hillsides most part of the assumed infinite layer is missing, and for this reason the measured thickness is smaller than the real one. In

the valleys, the situation is reversed: above the assumed horizon there are lots of conductors, and the apparent thickness is bigger. This effect is eliminated by the Surface–Borehole Model Optimisation at the cost of larger fitting error consequently, higher stress factor.

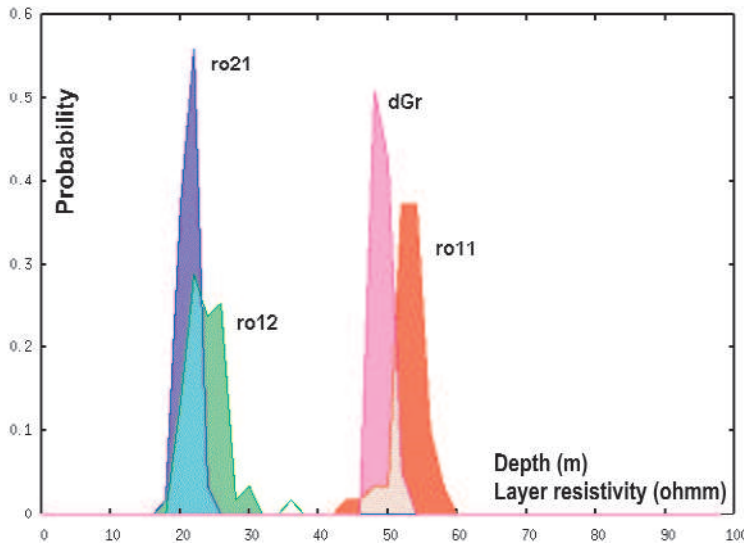


Figure 11. Probability distribution of non fixed model parameters from 100 contaminated datasets (Borehole Üh-3)

dGr = the depth to the granite surface, ro11, ro12, ro21 = the appropriate layer resistivities

11. ábra. Nem rögzített modellparaméterek előfordulási valószínűsége 100 db hibával terhelt adatsor inverziójából (Üh-3 fúrás)

dGr = gránitmélység, ro11, ro12, ro21 = a megfelelő rétegek ellenállásai; Probability = valószínűség, Depth = mélység, Layer resistivity = rétegenállás

Table 5. Standard deviation of model parameters at Borehole Üh-3

Parameter	Median (ohmm)	RMSF	Relative RMSF (%)
ro11	54.21	4.67	8.61
ro12	24.74	4.26	17.23
ro21	22.30	1.55	6.93
dGr	49.99	2.08	4.15

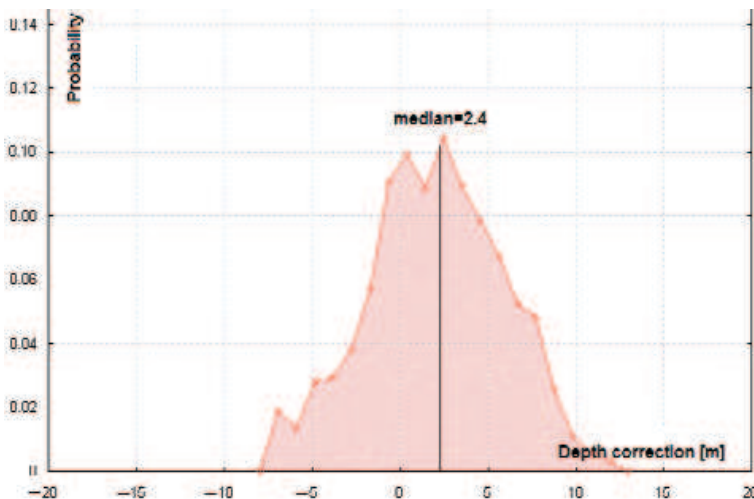


Figure 12. Probability distribution of depth corrections after releasing inversion constraints

12. ábra. A rögzítések feloldásához kapcsolódó mélységkorrekciók valószínűségi eloszlása

Probability = valószínűség, Depth correction = mélységkorrekció, median = medián

### Estimation of Model Parameter Errors

Data errors and model parameter errors are strongly coupled to each other. In the case of Gaussian distribution the error of model parameters can easily be calculated from the covariance matrix. Data analysis of the entire data set has proved that the noise contaminating the TDEM channels is far from being Gaussian and the usual approach of error estimation is not appropriate. In order to estimate model parameter errors Monte Carlo simulation was carried out. Noise distribution patterns were determined for each data channels, and used to generate synthetic measurements from the inverted model at Borehole Üh-3. Model parameter variations were analysed from the inversion results of 100 synthetic measurements contaminated with real life noise.

On Figure 11 the probability distribution of non fixed model parameters can be seen. The results from the 100 inversions show Gaussian-like distribution (averages and medians are coincident). Standard deviation of the specific parameters are listed in Table 5. Based on the TDEM sounding over Borehole Üh-3 the error of granite depth prediction is  $\pm 4.1\%$ . The same value without Borehole–Surface Model Optimisation is  $\pm 6.9\%$ . It means that the integration of well-logging data into the inversion procedure improves stability and increases precision. The determination of the sediment resistivity is biased with similar amount of error. The most stable parameter is ro21 (when ro22 is fixed). The higher deviations experienced in the upper two layers are caused by the poor sensitivity of the TDEM method in detecting resistive layers.

In the previous section it was mentioned that releasing inversion constraints changes the granite surface. In order to be able to consider the magnitude of this effect the probability distribution of this depth correction is shown on Figure 12.

The median of depth correction is 2.4 m. For 50% of all stations the correction is between  $-0.3$  és  $5.3$  m, and for 75% of all stations it is between  $-5.0$  and  $5.0$  m.



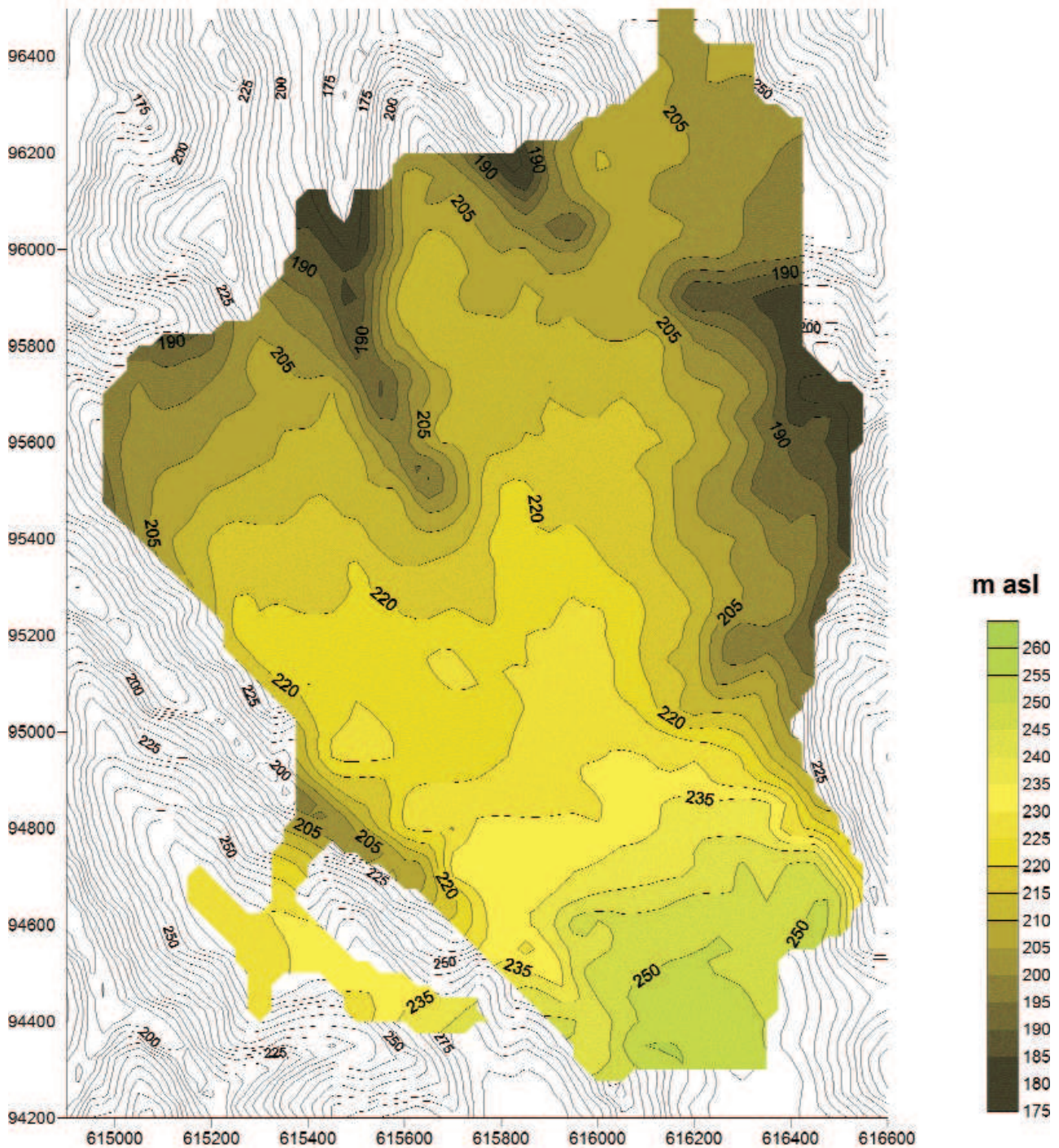


Figure 13. Granite surface defined by the geoelectric measurements

Coordinates are metres in EOVS system (EPSG:23700); m asl (and contour lines) = metre above sea level (Baltic System), contour line spacing = 5 m

13. ábra. A geoelektromos mérésekből meghatározott gránitfelszín m asl (és szintvonalak) = m Bf, szintvonalköz = 5 m

## Results

### Granite Surface

From all available information regarding depth the basement surface elevation map (Figure 13) was prepared.

The dataset used for the interpolation contained data from 841 TDEM soundings, 51 VES soundings, 62 boreholes. 17 outcrop locations that were partly identified on the site, partly determined from multielectrode DC profiles were also used. Due to the large contrast to the sediments the geoelectric basement correlates with the upper debris level

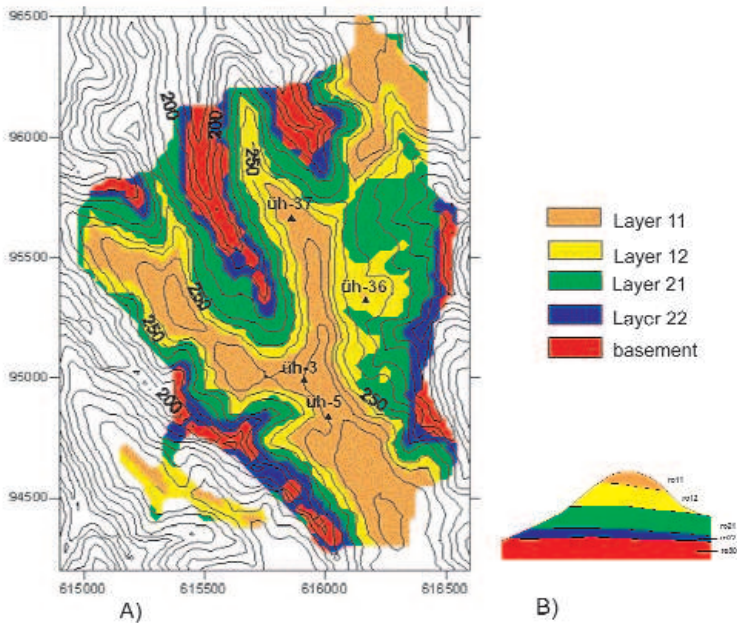


Figure 14. Bird view of the 3D model constructed from inversion data

A) distribution of geoelectric layers; B) theoretical cross-section of the identified geoelectric layers; coordinates are metres in EOVS system (EPSG:23700); contour line values = metres above sea level (Baltic System), contour line spacing = 10 m

14. ábra. A 3D térmodell felülnézeti képe

A) a geoelektromos rétegek elhelyezkedése felülnézeten; layer = réteg, basement = aljzat; B) a geoelektromos rétegeket függőleges metszetben mutató elvi ábra; szintvonalak = m Bf, szintvonalaköz = 10 m

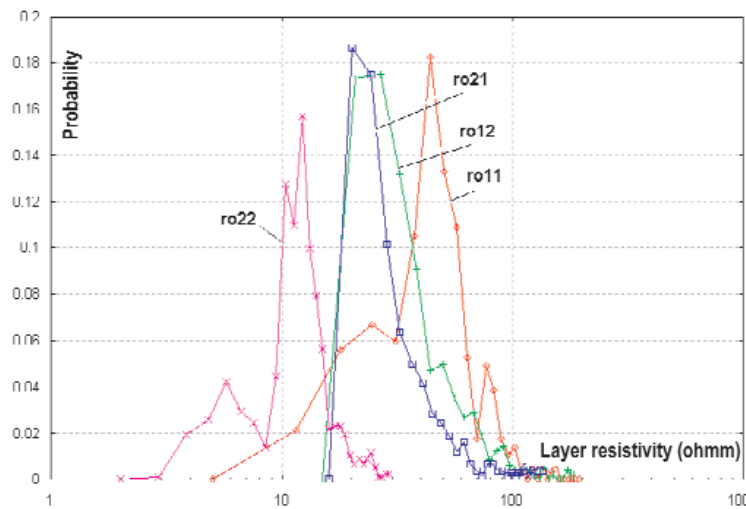


Figure 15. Probability distribution of layer resistivities over the entire area  
ro11, ro12, ro21 and ro22 = the appropriate layer resistivities

15. ábra. A geoelektromos rétegek ellenállásának valószínűségi eloszlása a mérési területen

ro11, ro12, ro21, ro22 = a megfelelő rétegek ellenállása; Probability = valószínűség; Layer resistivity = rétegenállás

Table 6. Statistics of the geoelectric layers

Layer	Number of samples	Median (ohmm)	
		from ground-based measurements	from well-logs
11	284	50	55
12	484	35	41
21	738	28	23
22	782	13	12

of the Mórággy Granite Formation. This is the surface that can be determined by the ground-based geoelectric measurements. It was used as input for the 3D seismic tomography measurements, magnetotelluric measurements and the hydrodynamic modelling.

The granite basement is a flat, smooth surface slightly dipping into N–NW direction with a rate of 7%. It is highest at the southern part of the Site area where height is around 250 m. In the middle of the area at about 220–230 m it has an almost horizontal plateau. In the north it forms a ridge and continues dipping. Closer to the axes of the deep valleys—with significantly smaller variations—it follows the surface, and then it crops out. The valleys are partly cut into the smooth relief of it.

Overburden

With the inversion of the ground-based geoelectric measurements the 3D resistivity distribution model of the overburden was created. The bird view of this spatial model is shown on Figure 14.

Lower layers are obscured by the upper ones. Exposed layers appear like a geological map from above. To show the upper surface and resistivity of the geoelectric layers a series of maps were produced. As part of the statistical analysis the estimated resistivity and standard deviation of the individual layers were also determined.

Probability distributions are shown on Figure 15. Distributions are lognormal, so the diagram has logarithmic horizontal scale. Instead of average the more robust parameter, median is used (Table 6). For comparison resistivities of the substitution models from electric well-logs are also listed.

The coincidence is reasonable, proving that the intension to keep ground-based geophysical and well-logging results consistent was successful. The inversion results are in concordance with geophysical well-log interpretations. Statistical analysis of the inversion results supports the conclusion of the well-log interpretation that the uppermost layer (ro11) is strongly inhomogeneous (see the strong side wings of histogram ro11). The double peak that was identified by the analysis of well-logging zone A1 in the same Layer 11 also appears in the distribution of ground-based data (VÉRTESY et al. 2003, Appendix III, Figure 1). The distribution pattern of ro12 and ro21 are similar, ro12 shows a bit larger median and stronger wing towards higher

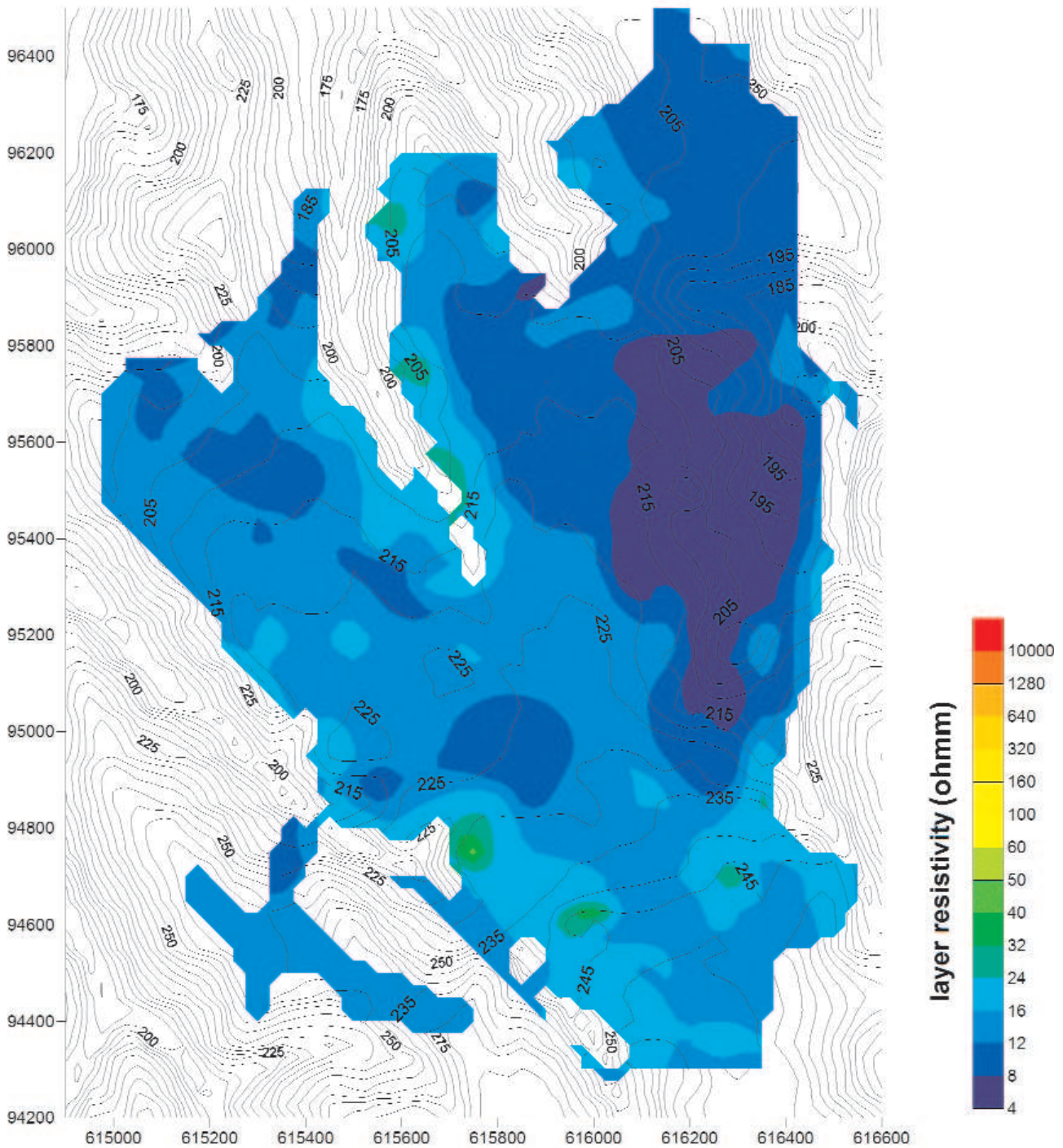


Figure 16. Upper surface and resistivity of Layer 22

The low resistivity block in the eastern area indicates anomalous build-up in the overburden; coordinates are metres in EOVS system in EOVS system (EPSG:23700); m contour line values = metres above sea level (Baltic System), contour line spacing = 5 m

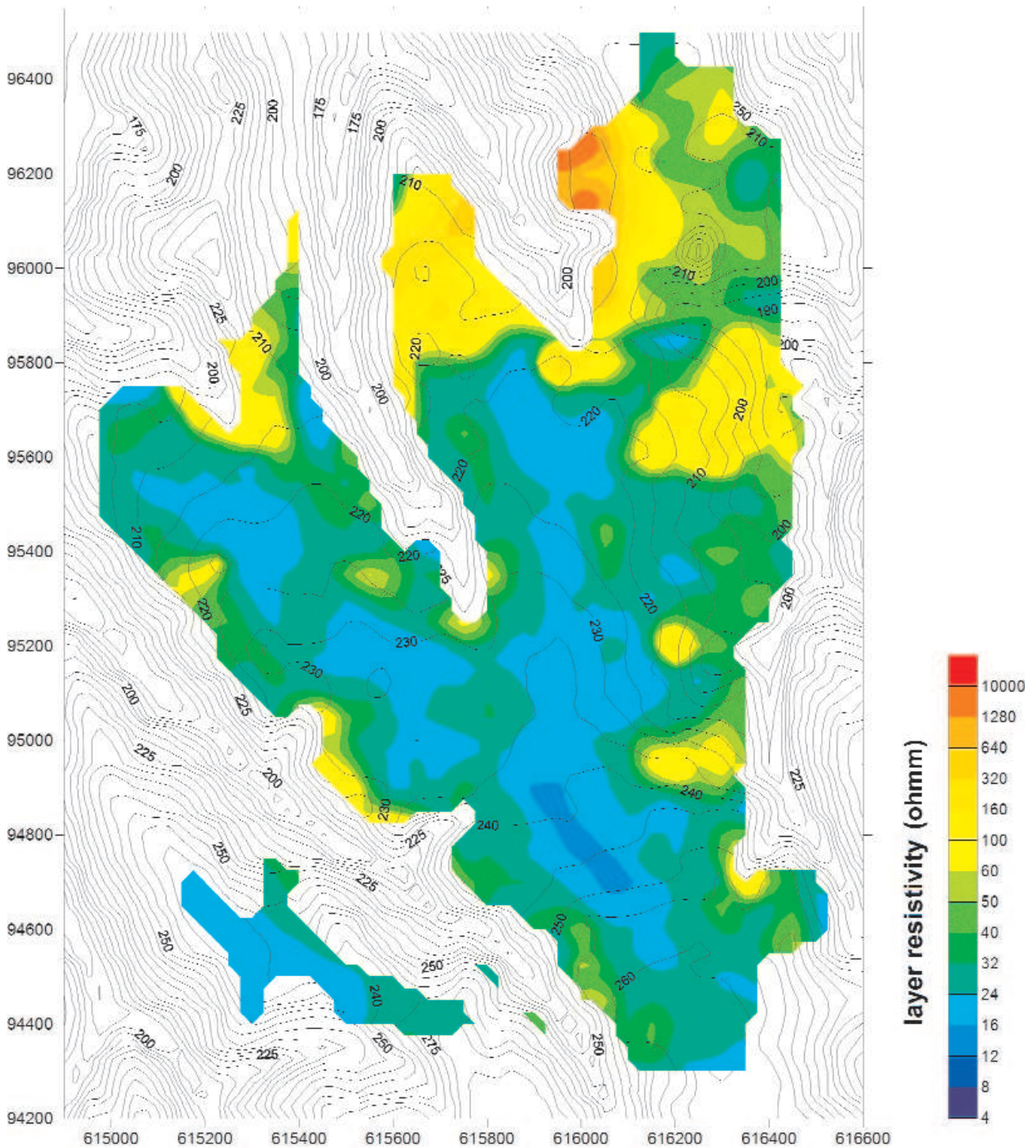
16. ábra. A 22-es réteg ellenállása és felszíne

A főgerinctől keletre eső kisellenállású blokk rendellenes felépítésű fedőre utal; szintvonalak = m Bf, szintvonalköz = 5 m; layer resistivity = rétegenállás

resistivities.  $R_{o22}$  has notably lower median and characteristic double peak. The maximum around 5-6 ohmm is caused by the anomalous area east of the main ridge.

*Spatial Patterns and Resistivity Distributions of the Overburden*

The resistivity distribution and the surface of Layer 22 are shown on Figure 16. The conductive layer just above the



**Figure 17.** Upper surface and resistivity of Layer 21

Coordinates are metres in EOVS system (EPSG:23700); contour line values = metres above sea level (Baltic System), contour line spacing = 5 m

**17. ábra.** A 21-es réteg ellenállása és felszíne

szintvonalak = m Bf, szintvonalköz = 5 m; layer resistivity = rétegenállás

granite surface can be identified as the Tengelic Red Clay Formation. Delineation of this layer was done by the 4 m contour line of the sediment thickness map. Its average resistivity is 12–14 ohmm, except at the eastern part of the area, where the sediment shows anomalous behaviour (see the double peak of *ro22* on Figure 15). The resistivity of this

area delimited by the main ridge from the west is extremely low (5–8 ohmm). The basement depth detected in Boreholes Üh–36 and Üh–4 can only be maintained by the inversions if resistivity is kept extremely low.

The small spots of higher resistivities at the valley edges indicate that the layer is somewhat thinner, and its material is

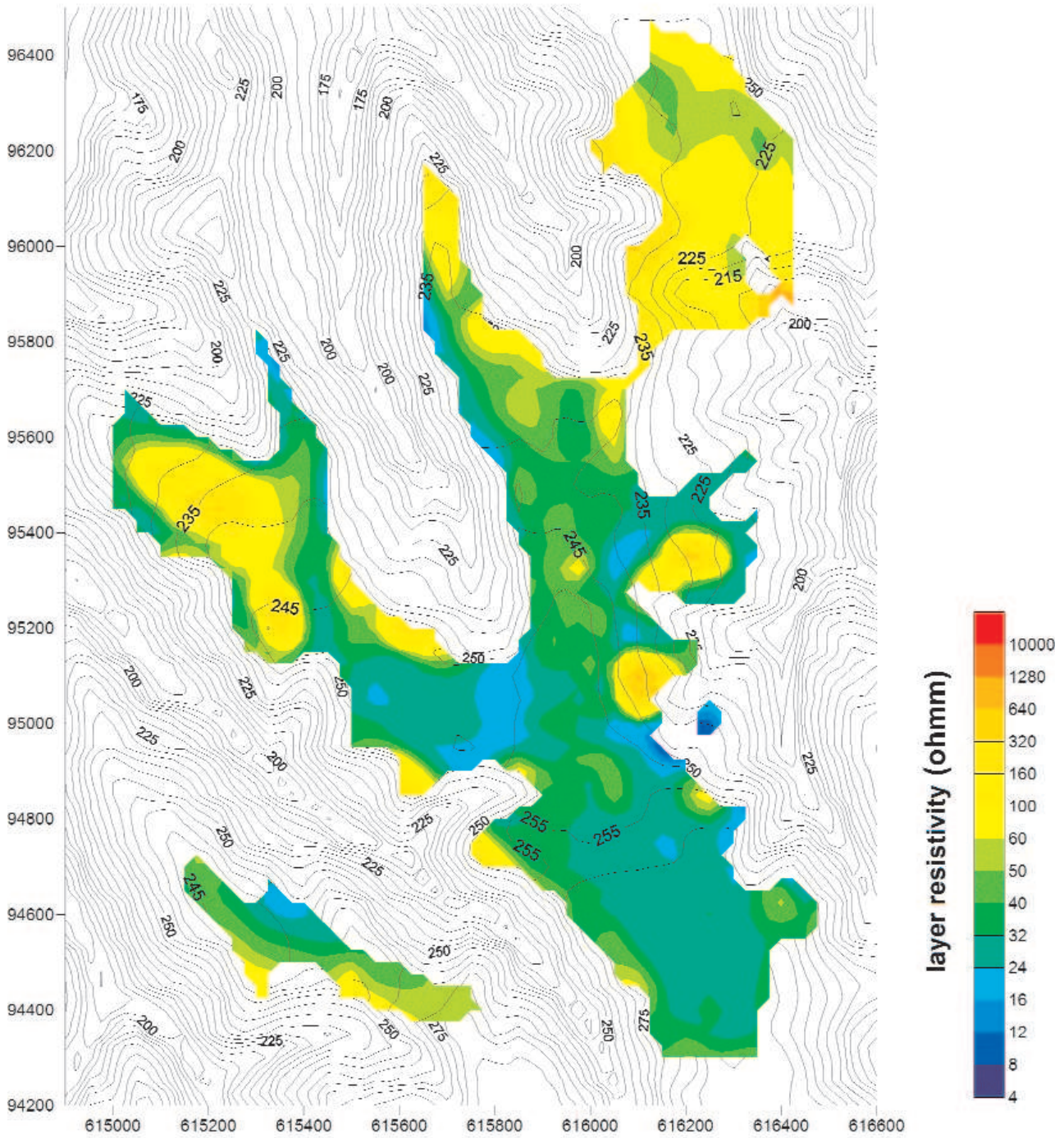


Figure 18. Upper surface and resistivity of Layer 12

Coordinates are metres in EOVS system (EPSG:23700); contour line values = metres above sea level (Baltic System), contour line spacing = 5 m

18. ábra. A 12-es réteg ellenállása és felszíne

szintvonalak = m Bf, szintvonalköz = 5 m; layer resistivity = rétegellenállás

mixed with hill slope sediments from higher, more resistive layers. (instead of 12–15 resistivity grows up to 18–20 ohmm) This phenomenon can be traced on the multielectrode profiles as well.

The combined maps of Layers 21, 12 and 11 are shown on Figures 17–19. Delineation of the surfaces was done by intersection with the ground surface. (Due to the different sampling rate and cell size of the digital elevation model and

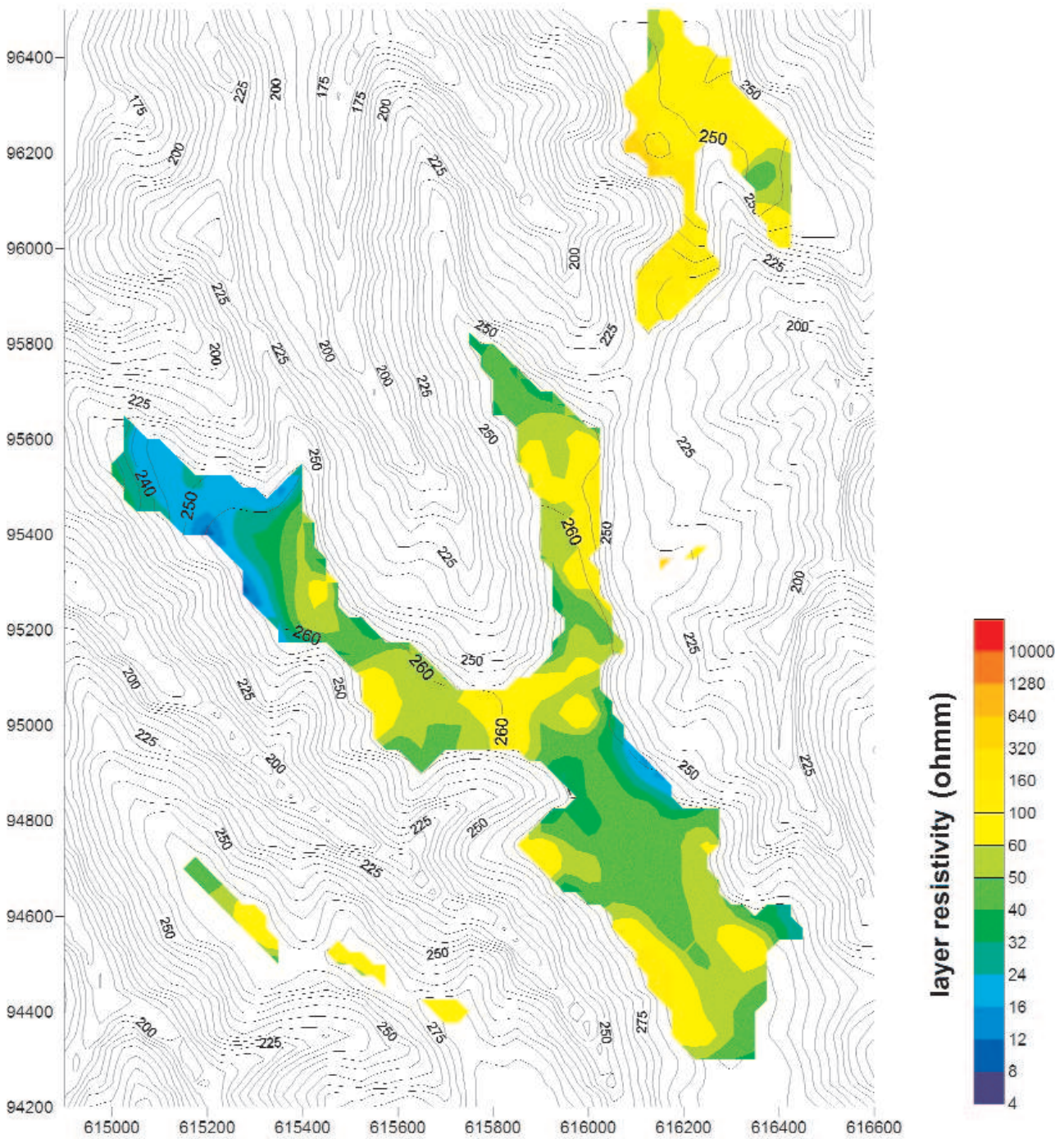


Figure 19. Upper surface and resistivity of Layer 11

Coordinates are metres in EOVS system (EPSG:23700); contour line values = metres above sea level (Baltic System), contour line spacing = 5 m

19. abra. A 11-es réteg ellenállása és felszíne  
szintvonalak = m Bf, szintvonalköz = 5 m; layer resistivity = rétegenállás

the geophysical grids the intersections of contour lines are not perfect.) It can be seen, that below the ridges the layers are quite homogeneous, while at places more exposed to erosion variations are more expressed. Layer 12 shows

higher resistivities at the northern and western part of the site area. The low resistivity detected at the western part of Layer 11 shows the presence of a thin conductive layer.



## References — Irodalom

- MARSI, I., DON, GY., FÖLDVÁRI, M., KOLOSZÁR, L., KOVÁCS-PÁLFFY, P., KROLOPP, E., LANTOS, M., NAGYNÉ BODOR, E., ZILAHÍ-SEBESS, L. 2004: Quaternary sediments of the north-eastern Mórág Block (A Mórág-riög ÉK-i részének negyedidőszaki üledékei). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 343–369.
- SÓRÉS L. 2003: A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tervezett üveghutai tárolójával kapcsolatos, ELGI által 2003-ban végzett geofizikai munkálatok. Tranziens elektromágneses mérések kiterjesztése (in Hungarian, translated title: Extension of the transient electromagnetic measurements). — *Manuscript (kézirat)*, Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest.
- SÓRÉS L. 2006: Kis és közepes radioaktivitású hulladékok tervezett végleges elhelyezése Felszín alatti földtani kutatási munkák 2005–2007. Kiegészítő felszíni kutatás geofizikai munkái. Jelentés az Északi Objektum területén végzett tranziens és sokelektrodás mérésekről (in Hungarian, translated title: Report on the transient and multielectrode measurements in the area of the Northern Object). — *Manuscript (kézirat)*, Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest.
- VÉRTESEY L., CSABAFI R., FEJES I., GACSÁLYI M., GULYÁS Á., HEGEDŰS E., KISS J., KOVÁCS A. Cs., KOVÁCS P., MADARASI A., PATAKY P., PRÓNAY Zs., RÁNER G., REDLERNÉ TÁTRAI M., SÓRÉS L., SZABÓ Z., TÓTH Z., TÖRÖK I., TÖRÖS E., ZILAHÍ-SEBESS L. 2003: Geofizikai adatok integrált értelmezése 3 (in Hungarian, translated title: Integrated interpretation of geophysical data 3). — *Manuscript (kézirat)*, Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest, BA-03-132.
- ZILAHÍ-SEBESS L. 2005: Mélyfúrás-geofizikai mérések értelmezése a Mórág-riög területén. PhD doktori értekezés (in Hungarian, translated title: Well log interpretation in the area of Mórág hills). — *Manuscript (kézirat)*, Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest.
- ZILAHÍ-SEBESS, L., SZONGOTH, G. 1997: Mélyfúrás geofizikai szelvények alapján történő korreláció módszertani alapja negyedidőszaki összletben és a granitoid összlet felszíni hatásra átalakult szakaszán (in Hungarian, translated title: Methodology of the correlation in the Quaternary and the weathered granite based on well-logging data). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- ZILAHÍ-SEBESS, L., LENDVAY, P., SZONGOTH, G. 2000a: Division of Quaternary formations and their characterisation based on physical properties at the üveghuta Site (A negyedidőszaki képződmények tagolása és jellemzése fizikai tulajdonságok alapján az üveghutai telephelyen). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 171–192.
- ZILAHÍ-SEBESS, L., MÉSZÁROS, F., SZONGOTH, G. 2000b: Characterisation of fracture zones in granite, based on well-logging data at the Üveghuta Site (A gránit töréses öveinek jellemzése mélyfúrás-geofizikai adatok alapján az üveghutai telephelyen). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 253–272.
- ZILAHÍ-SEBESS, L., RIEGLER, GY., SZONGOTH, G. 2000c: Division of the weathering crust of the Üveghuta granite based on well-logging data (Az üveghutai gránit mállási kérgének tagolása mélyfúrás-geofizikai adatok alapján.) — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 213–230.

## Drilling of Boreholes in the Frame of the Underground Exploration and their Geological Logging in the Bábaapáti Site

LÁSZLÓ GYALOG<sup>1</sup>, PATRIK TÖRÖK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geological Institute of Hungary, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

<sup>2</sup> Mecsekérc Close Company, H-7633 Pécs, Esztergár Lajos u. 19.



**Key words:** deep borehole, underground borehole, disposal of radioactive materials, Hungary, South Transdanubia, granite

### Abstract

Between 2004 and 2010 in the frame of the implementation of the radioactive waste repository pilot boreholes were deepened under the ground prior to tunnel driving along their trace as well as sideways of them with different objectives in the Bábaapáti Site. Before heading the tunnels boreholes were penetrated from the ground surface along the tunnels as well in order to facilitate to set their trace and to observe the essentially hydrogeological impacts of tunnel driving in ground-based wells. In situ packer tests and well-logging were conducted in the boreholes, whereas the core material was subjected to geological-tectonic and geotechnical logging.



### Introduction

During the exploration and implementation of the planned underground National Repository of Radioactive Wastes (NRHT) the zone of the designed repository was accessed by inclines (BERTA 2010), surveying the penetrated medium in between (GYALOG et al. 2010).

In the course of the ground-based research boreholes were drilled both from the surface and in the tunnels. Tunnel driving started in the vicinity of the site in 2005. Two inclines were carried out first with 6 interconnecting passageways and 13 chambers of different purposes. They were followed by head tunnels around the altitude of 0 m asl (Baltic System): first the so-called Kishurok (“Small Loop”), followed by the so-called Nagyhurok (“Big Loop”, leading to the entrance of the planned chambers). Within the Kishurok the tunnels of the sump system were driven. Deeper wells associated with the activities of tunnel construction are summarised inclusive the termination of the heading of Nagyhurok. (In the first stage of the NRHT implementation the Kishurok, whereas in the

second one the Nagyhurok and the sump system within Kishurok were executed.)

As a function of their location boreholes penetrated during the exploration are assigned to two categories, ground-based and underground ones. Their drilling is discussed separately, whereas their geological investigation is addressed jointly.

An operational plan was prepared prior to the drilling of all boreholes, their penetration could start following its approval.

Rotaqua Ltd carried out all the ground-based and the underground cored boreholes. Flushing in the ground-based boreholes and in those deepened during tunnel construction was carried out using Bátaszék water with uranine tracer, whereas in the few final boreholes of the inclines and in the boreholes of the head tunnels (Kishurok and Nagyhurok) by gushed water collected in the tunnels. Core recovery exceeded 95% in each borehole. Packer test was executed in each well, the performance of other tests varied as a function of the type of the drilling.



The technical supervision of the boreholes has been accomplished first by Golder Ltd and (from July 2008 called as technical documentation activity) by Mecsekérc Close Company. Geodetic measurements were performed by Mecsekérc. The layout of the boreholes and the procedures of their implementation are presented in technical supervisory reports.

In situ packer tests were conducted in the boreholes by Golder specified in unique well-test reports. Water sampling was carried out by the Geological Institute of Hungary (MÁFI). Well-logging was executed in the ground-based holes, the hydrogeological boreholes of the inclines and the boreholes of the head tunnels by Geo-Log Ltd, whereas in the pilot boreholes of the inclines by Karotázs Ltd. Rock-mechanical tests between the EDZ (Excavation Disturbed Zone) boreholes were accomplished by the Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary (ELGI).

Core scanning in each borehole and geological-tectonic logging in ground-based deep ones were executed by MÁFI. As for the hydrogeological and rock-stress measurements boreholes penetrated from the inclines and their chambers together with the HGM (hydrogeological-geomechanical monitoring) Chamber boreholes and pilot boreholes of the head tunnels, geological-technical logging was carried out by MÁFI accompanied by core scanning in some boreholes (Bm-[3-4], Bkh-[1-2]). Detailed logging of several boreholes (BeR-1, Bp-4) and the schematic one of the pilot boreholes of the inclines were undertaken by Mecsekérc. Geotechnical logging (Mecsekérc, and Kőmérő Ltd) proceeded along some tracts of the ground-based boreholes and in all underground boreholes.

The final report of the underground geological exploration (BALLA et al. 2008) incorporates the till the end of 2007 finalised data of all boreholes of the underground survey including the boreholes of the complementary ground-based exploration and the ones deepened of the tunnels (to 1482.9 m of the Eastern Incline and to 1573.2 m of the Western Incline) and it lists the related reports, therefore they are not cited here. Subsequent borehole data of the first period can be found in unique logging reports grouped by themes (technical logging, geological-tectonic logging, well-logging, packer tests, geotechnical tests; e.g. Bkh-[1-2] geology-tectonics—GYALOG et al. 2008, BeN-6 geology-tectonics—GYALOG, ALBERT 2008, BeK-15 geology-tectonics—GYALOG, GULÁCSI 2008). More recent boreholes figure by holes in the reports summarising the five above mentioned themes (*inclines*: Bp-2—TÖRÖK et al. 2008, BeR-1—DÁLYAY 2008, *Kishurok*: BeN-7—TÖRÖK et al. 2009b, BeN-8—DÁLYAY et al. 2009b, BeK-16—ANDRÁS et al. 2009b, BeK-17—ANDRÁS et al. 2009c, BeR-3—TÖRÖK et al. 2009c, Bp-3—TÖRÖK et al. 2009a; *Nagyhurok*: BeR-2—ANDRÁS et al. 2009a, BeR-4—ANDRÁS et al. 2009d, BeR-5—DÁLYAY et al. 2009a, BeR-6—TÖRÖK et al. 2009d, BeR-7—DÁLYAY et al. 2009c, BeR-8—TÖRÖK et al. 2010b, BeR-[9-9A]—DÁLYAY et al. 2010b, BeR-10—DÁLYAY et al. 2010a, BeR-[11-11A]—SZEBÉNYI et al. 2010, BeR-12—SZABÓ et al. 2010, Bp-4—TÖRÖK et al. 2010a, Bp-4B—ANDRÁS et al. 2010).

To start with, the penetration data of ground-based and underground boreholes will be presented followed by specifying the workflow of the borehole geological-technical logging.

## Ground-based Boreholes

The boreholes penetrated between 2004 and 2005 from the surface (Figure 1) were part of the complementary research (ground-based survey in the frame of the underground exploration; GYALOG, HÁMOS 2004). Deep boreholes along the inclines and the tunnel-directing ones were deepened with coring, whereas groundwater observation wells set up nearby were penetrated by non-coring method. As a new type, piezometric boreholes were also accomplished. All of them were completed to wells operating in the frame of groundwater monitoring. The technical supervision of the boreholes and well tests were performed by Golder, well-logging was executed by Geo-Log, hydrogeological sampling, the geological-tectonic logging and core scanning of cored boreholes together with the geological logging of piezometric boreholes were accomplished by MÁFI, whereas Mecsekérc was engaged in the geodetic positioning of the boreholes and their geotechnical logging.

**Deep boreholes along the inclines** were aimed at providing data on the geotechnical setting along the trace of the inclines prior to the tunnel heading as well as on assessing the hydrogeological impact brought about by driving the tunnels. Two boreholes were deepened, Üh-39 and Üh-42 at 570.0 m and 980.0 m of the Eastern Incline, respectively, in order to get preliminary information on the geological, tectonic, hydrogeological and geotechnical conditions at the end of the first and second third of the shaft prior to the shaft implementation. Another objective was to facilitate the observation of the changes in hydrogeological relationships in the frame of monitoring during and after tunnel driving.

**Tunnel-directing deep boreholes** were penetrated in order to provide data on whether the Site can be located in the northern monzonitic rock body. (This area was called Northern Object.) The task was the geological-tectonic, rock-mechanical and hydrogeological qualification of the area for the preliminary determination of the position of the horizontal head tunnel in order to find out if disposal chambers might be designed in this spatial domain. Three boreholes were carried out, Üh-43, Üh-44 and Üh-45, respectively, beneath the projected disposal level down to the altitude of -50 – -60 m asl (Baltic System). The geometric position of the three boreholes as compared to one another and to the earlier boreholes facilitated the execution of cross-hole examinations as well.

The non-cored **groundwater observation boreholes** were deepened next to the boreholes along the inclines and the tunnel-directing ones in order to define and continuously observe the groundwater level. They were positioned 9.25 and 7.9 m from Boreholes Üh-39 and -42 (Üh-39A and

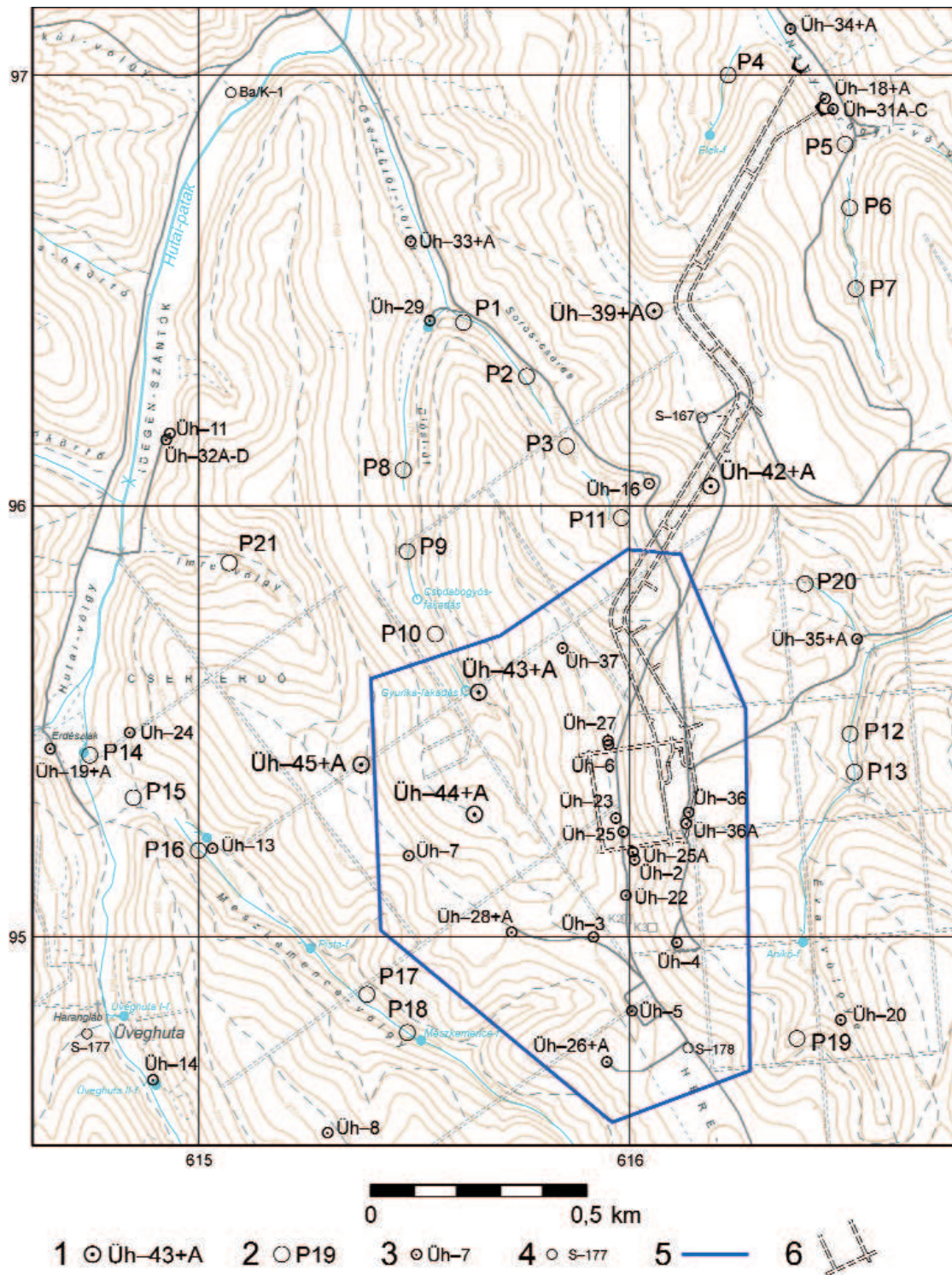


Figure 1. Layout of the ground-based boreholes

1—ground-based deep borehole deepened in the frame of the complementary exploration with groundwater observation borehole, 2—piezometric borehole, 3—borehole penetrated formerly in the frame of the Üveghuta exploration, 4—borehole deepened prior to the Üveghuta exploration, 5—boundary of the exploration area, 6—trace of the tunnels

1. ábra. A felszíni fúrások elhelyezkedése

1 – a kiegészítő kutatás során készült felszíni mélyfúrás talajvízszint-megfigyelő fúrással, 2 – piezométer-fúrás, 3 – az üveghutai kutatás során korábban mélyült fúrás, 4 – az üveghutai kutatás előtt mélyült fúrás, 5 – a kutatási terület határa, 6 – vágatok nyomvonala

Üh-42A) and 7.3, 7.61 and 6.46 m from the holes Üh-(43-45) (Üh-43A, Üh-44A and Üh-45A), respectively.

The water level (groundwater-head) and water quality data of the deep and groundwater observation wells and the well pairs completed of them contribute to getting more specific information on the flow and transport patterns of subsurface waters.

The **piezometric boreholes** were penetrated in order to enhance the density of the hydrogeological monitoring network aimed at getting acquainted with the geological, hydrogeological and geotechnical settings in the vicinity of the inclines prior to tunnel heading and at surveying the hydrogeological impacts during tunnel driving. Piezometric boreholes were deepened in some more relevant valleys with surface water streams. The implemented piezometers are permanent wells suitable for water sampling as well as water level measurement and registration equipped with lockable well heads.

The position and the aim of the boreholes were as follows:

3 boreholes (P1, P2 and P3) were drilled *in the E branch of Cserdülő Valley* in the valley profile at 200 metre spacing away from the tunnel for the measurement and registration of the tunnel effect. Another borehole (P11), the closest one to the tunnel was deepened from the valley side due to the relief pattern.

One piezometer (P4) was established along the lower reach of the *SW tributary valley of Nagymórágy Valley* where the water of Elek Spring becomes absorbed by its own alluvium.

In the *S branch of Nagymórágy Valley* the water stream in the valley gets absorbed by its own alluvial fan 150 m upstream its mouth, it spreads out and its water is delivered beneath the surface in the water system of Nagymórágy Valley, in which it re-emerges as a surface water stream 400 m downstream. 3 piezometric boreholes were penetrated there, P5 at the mouth of the tributary branch (at the S end of the ground Site) and another two (P6 and P7) upstream the mouth of the S branch.

3 piezometers (P8, P9 and P10) were implemented *in the W branch of Cserdülő Valley* on the valley floor, in the valley profile at 200 metre spacing away from the tunnel, northward of Boreholes Üh-43 and Üh-43A for the detection and observation of the tunnel effect as well as its measurement and registration.

One piezometer was implemented upstream and downstream the damming zone each, well-known even on the surface in *Éva Valley* (P12, P13). In addition to the already existing water discharge recording overfalls B4 and B7 as well as the observation wells Üh-12, Üh-20 and Üh-35 they served for the spatial and temporal observation and registration of the tunnel impact.

The water stream *in Mészkenence Valley* gets absorbed by its own debris cone some 100 m downstream Borehole Üh-13; it spreads out and empties in Huta Brook beneath the surface. In addition to the existing Borehole Üh-13 and the

overfall B1 three piezometers were set (P14, P15 and P16) in the valley stretch downstream from the overfall B1 to the overfall B2 in Huta Brook for the detection and observation of the tunnel effect.

Two piezometers (P17 and P18) were implemented for studying the areas up- and downstream the damming zone revealed in the upper reach of the valley. The hydraulic examinations and water level registrations of the two piezometers were aimed at detecting and interpreting the hydrogeological impact of the damming zone as well as the tunnel effect and the influence of the damming zone on the latter.

Another 3 piezometric boreholes were deepened in specific sites as follows:

Borehole P19 was penetrated in the *W tributary valley of Éva Valley* in order to clarify the difference between comparatively normal and high water levels observed in Boreholes Üh-20 and R-7, respectively. The piezometric borehole facilitated the more exact delineation and study of the damming zone suggested between Boreholes R-7 and Üh-20.

The well completed of Piezometric Borehole P20, which was deepened at the last third of the inclines in the upper reach of the valley to the SE of it in a bifurcation, can be utilised for the spatial and temporal observation of the tunnel effect together with the earlier completed well Üh-35.

Piezometric Borehole P21 was penetrated in *Imre Valley* in order to acquire better knowledge on the area investigated by Boreholes Üh-(43-45). It was necessary to set up this observation well towards NW in the upper reach of Imre Valley to enable the observation of hydrogeological changes in this region with substantial lack of information.

#### *Penetration of the Boreholes*

The dirt roads leading to the *tunnel-directing deep boreholes* (Üh-43, Üh-44, Üh-45) and the *deep boreholes along the inclines* (Üh-39) were improved (Borehole Üh-42 is located at the road to Üh-39) and the “main road network” leading to the deep boreholes of the ground-based exploration were restored. During the preliminary activities earthwork was performed in the forest area taken out and the site of the boreholes was arranged (max. 20×30 m). The latter was partly covered by crushed gravel, concrete slabs were deposited and the drilling basis was constructed. The drilling basis served also as the basis of the associated *groundwater observation wells*.

Each of the 5 deep boreholes was penetrated by Rotaqua with Wirth B1A rig. In shallow depths (in the overlying beds and weathered granite) traditional coring technology was applied with hard metal or diamond drill bit using triple-wall Geobore-S core barrel, whereas in greater depths (in hard granitoid rocks) wireline coring technology was used with diamond drill bit and double-wall core barrel.

The baseline data of the penetrated boreholes are demonstrated in Table 1.

**Table 1.** Baseline data of deep boreholes along the inclines and the tunnel-directing ones as well as their groundwater observation wells

Borehole code	Borehole type	Coordinates			Bottom m	Penetration date month/year	Top of the basement		Groundwater level	
		Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)			m bgs	m asl (BS)	m bgs	m asl (BS)
Üh-39	dai	616,057.69	96,453.77	259.44	250.00	11-12/2004	57.14	202.30	–	–
Üh-39A	sgo	616,061.27	96,445.24	259.98	72.14	09/2004	–	–	59.52	200.46
Üh-42	dai	616,189.23	96,046.48	249.39	230.43	01/2005	43.93	205.46	–	–
Üh-42A	sgo	616,189.29	96,054.37	249.53	65.00	01/2005	–	–	55.56	193.97
Üh-43	tdd	615,650.48	95,568.48	202.10	260.00	08-09/2005	5.10	197.00	–	–
Üh-43A	sgo	615,654.88	95,562.65	202.14	25.00	08/2005	–	–	11.25	190.89
Üh-44	tdd	615,640.71	95,285.16	234.74	300.54	06-07/2005	19.20	215.54	–	–
Üh-44A	sgo	615,646.77	95,280.56	234.65	51.50	06/2005	–	–	40.86	193.79
Üh-45	tdd	615,377.72	95,400.55	271.82	330.15	04-05/2005	55.61	216.21	–	–
Üh-45A	sgo	615,373.37	95,395.77	271.92	95.00	03-04/2005	–	–	82.97	188.95

dai = deep borehole along the incline, tdd = tunnel-directing deep borehole, sgo = shallow borehole for groundwater observation; EOv = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System, bgs = below ground surface (from the drilling 0 m).

In the frame of the geodetic positioning of the boreholes the “drilling 0 m asl” (Baltic System) was fixed immediately after the start of the penetration, whereas after their termination and the completion of the shafts the key points of the shafts (hilti nail, edges of the casing) were measured.

Making use of the experience of the previous years the time of the drilling was substantially reduced. While in 1997–1998 the penetration and investigation of a 300 m-deep borehole required as many as 3-4 months, in 2004–2005 the same effort did not take more than 2.5 months.

Deep boreholes were sunk with bentonite and rhodopol flushing in the overlying beds and the weathered granites, whereas cleanwater flushing was adopted in the fresh granitoid complex beneath the cemented casing.

Water for the flushing was delivered of a formerly appointed well. Similarly to the 1998–1999 and 2002–2003 explorations it was the well 4 of the Bátaszék Waterworks (Borehole Bátaszék K-43). Its water derives of old—Upper Pannonian—deposits and its composition is quite similar to the groundwater beneath the Site (tritium-free), it does not thus distort the analytical results. The special flushing liquid used during the previous exploration during the penetration of collapsing zones (the rhodopol, or xanthan additive broken down by bacteria elaborated in the Szolnok factory of Mol [Hungarian Oil and Gas Publicly Traded Company]) was practically not applied in these boreholes (except for Boreholes Üh-39 and Üh-43 in the intervals of 49.15–75.29 and 17.28–27.85 m, respectively, while crossing collapsing zones). The water was continuously marked by tracer (uranine) to enable to determine the proportion of the flushing liquid in the water sample taken from the borehole.

Loose overlying beds and collapsing zones were isolated by casing of telescopic structure. The core recovery exceeded 97% in each borehole. Undisturbed core recovery in the overlying beds was enabled essentially by using triple-wall core barrel, whereas in the collapsing zones of the granite it was succeeded to surpass the 97% mark by the installation of a technical stand of pipes even by using clearwater flushing technique.

The schematic history of events in the deep boreholes is demonstrated in Table 2. It features merely the main episodes without specifying the cleanings of the holes, the details of casings and cementations and the intervals and types of technical well-loggings and packer tests.

The penetration of deep boreholes along the *drilling stage 1* (in the overlying beds and in the approx. 10 m-deep interval of the weathered granite, till the fresh one) proceeded by flushed coring technique (with hard metal or diamond drill bit) applying triple-wall Geobore-S core barrel. This section was then enlarged to 191 mm (146 mm in Borehole Üh-45) followed by the installation of 178 or 168 (140 in Borehole Üh-45) mm casing and by its cementation. Previously, a technical stand of pipes was used in the environs of the granite surface merely in Borehole Üh-39, whereas a 1.5 m section had to be isolated temporarily by a technical stand of pipes beneath the cemented casing in Borehole Üh-44 (*drilling stage 1A*).

In the *drilling stage 2*, in the fresh granite beneath the cemented casing the boreholes were carried out using HQ (96 mm) diameter, wireline technology (with double-wall core barrel and impregnated diamond bit). It was necessary to enlarge the hole to 120 mm only in Borehole Üh-45 down to 133.30 m for the isolation of a collapsing zone by a lost stand of pipes. Except for Borehole Üh-42, stage 2 was drilled in two phases. Following the termination of phase 1 the upper part of the section was investigated, whereas after reaching the bottom the remaining stretch was studied (*drilling stage 2A*).

Well-logging and packer hydrogeological tests (well tests) were conducted in the boreholes in several phases. They were performed prior to specific casing operations and after reaching the bottom. Complex well-logging took place in the upper part of the profile made up of overlying beds and weathered granites, whereas additional acoustic borehole televiewer inspection and high-sensitivity flow measurements were undertaken in the fresh granite. The quick test of 10 m-long tracts during the packer tests served for the investigation of the fresh granite with water sampling from the aquifers of high water yield capacity.

Table 2. Penetration and in situ investigation of deep boreholes along the inclines and the tunnel-directing ones

Data type	Data type / location	Üh 39	Üh 42	Üh 43	Üh 44	Üh 45
Basement top	depth (m bgs)	57.14	43.93	5.10	19.20	55.61
Geodesy	borehole point	*	*	*	*	*
Drilling stage 1	(up to m)	61.28	65.32	27.85	50.20	87.45
Downhole geophysics	complex well-log (m)	62.2 2.0	65.3 1.0	27.2 2.0	50.2 1.0	87.4 1.0
Cemented casing	bottom (m)	60.92			49.75	
Drilling stage 1A	(up to m)	75.29			51.14	
Downhole geophysics	complex well-log (m)	75.1 61.2				
	BHTV (m)	75.0 60.9				
Packer tests	test code	Üh39t1				
Cemented casing	bottom (m)	75.29	64.41	27.85	51.14 (temp.cas.)	86.01
Drilling stage 2	(up to m)	161.25	230.43	164.90	170.16	220.00
Downhole geophysics	complex well-log (m)	161.1 75.1		164.9 27.8	170.1 50.2	220.0 87.4
	BHTV (m)	161.1 74.0				
Packer tests	test code	Üh39t2 + water sample		Üh43 t1-t2	Üh44t1 + water sample	Üh45 t1-t3
Casing	(up to m)					133.30
Packer tests	test code	Üh39 t3-t9		Üh43t3 + water sample	Üh44 t2-t6	Üh45 t4
				Üh43 t4 t14	Üh44t7 + water sample	Üh45t5-t6 + water production
					Üh44 t8 t12	Üh45 t7 t11
Downhole geophysics	IIPI' (m)			162.0 26.0		
Drilling stage 2A	(up to m)	250.00		260.00	300.54	330.15
Hole geophysics	complex well-log (m)	250.0 161.1	230.0 65.3		300.0 170.1	330.1 220.0
	BHTV (m)	250.0 161.1	230.0 65.5		300.0 170.1	330.1 220.0
Packer tests	test code	Üh39 t10 t12	Üh42t1 + water sample	Üh43 t15 t19	Üh44 t13 t18	Üh45 t12 t13
		Üh39t13 + water sample	Üh42 t2-t7	Üh43t20 + water sample	Üh44t19 + water sample	Üh45t14 + water sample
			Üh42t8 + water sample	Üh43 t21-t24	Üh44 t20-t22	Üh45 t15-t22
			Üh42 t9-t15		Üh44t23 + water produc- tion rescue	Üh45t23 + water sample
					Üh44 t24-t25	
Completion of the well structure		*	*	*	*	*
Downhole geophysics	HPF (m)	250.0 75.0 (prior to pack.)	222.0 66.0	260.0 164.9	298.0 55.0	330.0 98.0
Geodesy	positioning of the wellhead cellar	*	*	*	*	*

BHTV = borehole televiewer, HPF = high-sensitivity flow measurement (Heat Pulse Flowmetry); temp.cas. = temporary technical stand of casing, pack. = packer measurement; \* = the event was realised.

The schematic history of events in the deep boreholes is demonstrated in Table 2. It features merely the main episodes without specifying the cleanings of the holes, the details of casings and cementations and the intervals and types of technical well-loggings and packer tests.

After completing the boreholes a concrete cellar was mounted on the mouth of the deep wells. The cellar was the same type as that mounted on Borehole Üh-5 (GYALOG, PERLAKY 1998). The concrete cellar was covered by a roof equipped with a special lock and a locking cap was fixed on

the conductor pipe. They were installed on each borehole. It was followed by the final geodetic positioning of the boreholes with the measurement of the mark fixed in the concrete cellar (hilti nail) and the edges of the casings visible in the cellar. After the completion of the boreholes a multi-packer observation system was installed in each hole for continuous monitoring.

The continuous technical supervision of the boreholes is reported by holes in the reports of Golder (references in BALLA et al. 2008).

The geological log and the hole structure of the deep boreholes along the inclines and the tunnel-directing ones are displayed on Figure 2.

The groundwater observation boreholes were generally also deepened with Wirth B1A rig (except for Borehole Üh-43A and the 0.0–62.46 m stretch of Borehole Üh-39A, which were deepened with Ingersoll Rand T4W rig). Their baseline data can be found in Table 1. The depth of these boreholes was determined by the groundwater level, their bottom was at least 10 m below it.

The boreholes were deepened by non-coring technique with dry drilling near the groundwater level, essentially by roller chisel bit with air flushing (enabling the precise detection of the groundwater level), down to the depth of

approx. 10 m below the groundwater table. (Borehole Üh-39A was penetrated with dry method down to its bottom.) Technical and cemented stands of casing were implemented here to avoid collapses (the first ones were gradually pulled out during well-logging in order to make the measurements feasible). The joint thickness of the overlying beds and the weathered granite was rather small in Borehole Üh-43A; it was thus deepened by dry method to the bottom, using an air hammer in its lowermost stretch from 4.43 m downward. Making use of the unfavourable experience of Borehole Üh-39A the upper tracts of the other 3 boreholes were penetrated with bentonitic mud, and following the implementation of a stand of casing (and the removal of the mud) dry technique was applied further

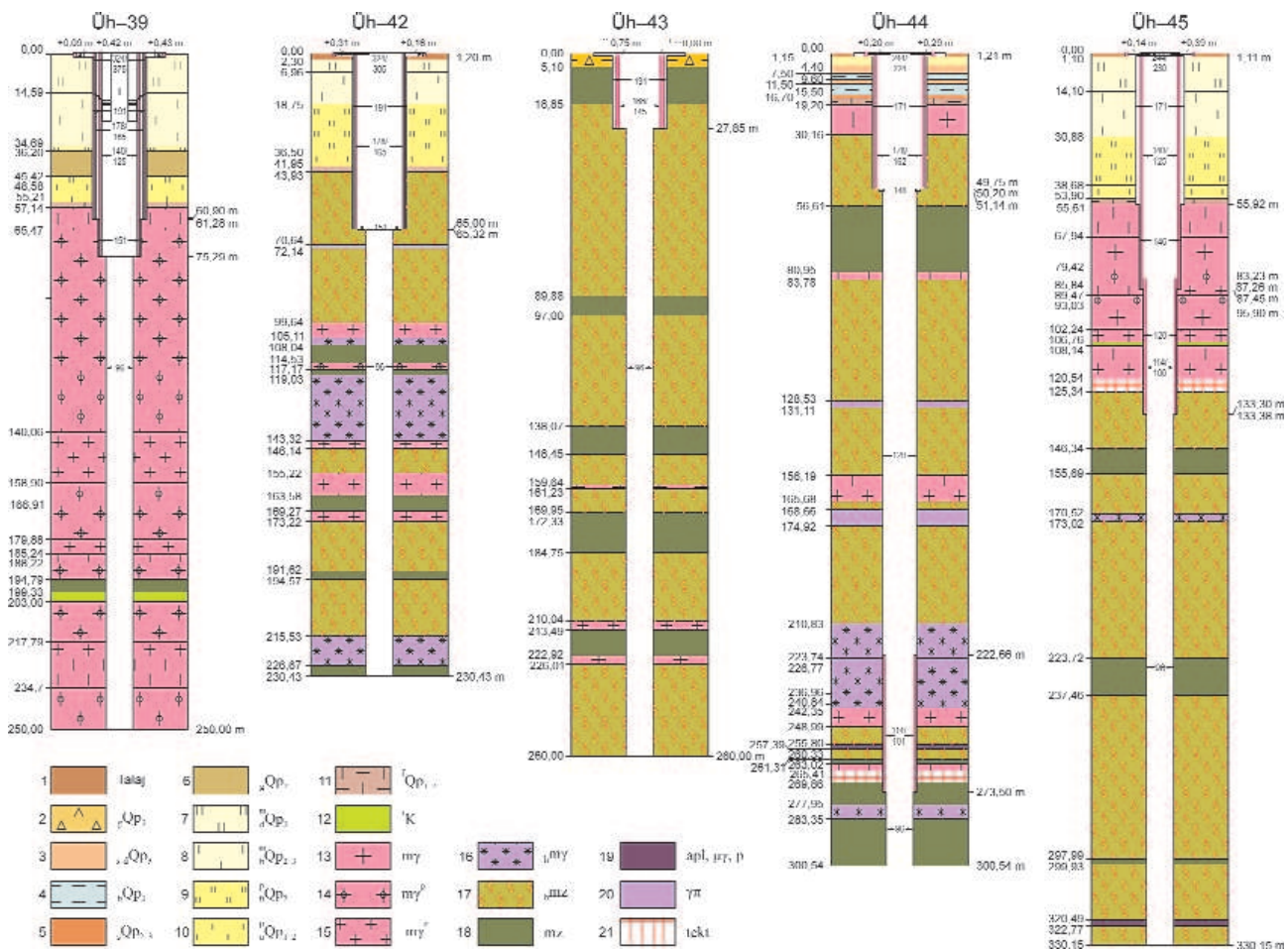


Figure 2. Geological log and hole structure of the ground-based deep boreholes

1—recens talaj, 2—lejtő- (deluviális-szoliflukciós) üledék (felső-pleisztocén), 3—suvadásos-deluviális üledék (felső-pleisztocén), 4—mocsári üledék (felső-pleisztocén), 5—csuszamlás üledék (középső-felső-pleisztocén), 6—lejtőüledék (középső-pleisztocén), 7—Mendei Löss Formáció, Dunaujvárosi Tagozat (felső-pleisztocén), 8—Mendei Löss Formáció Basaharci Tagozat (középső-felső-pleisztocén), 9—Paksi Löss Formáció, Üvegputai Tagozat (középső-pleisztocén), 10—Paksi Löss Formáció, Udvari Tagozat (alsó-középső-pleisztocén), 11—Fenyvestetői Vörösgyag Formáció (alsó-középső-pleisztocén), 12—Rozsdásserpenyői Alkálibazalt Formáció (kréta); Mórággyi Gránit Formáció (alsó-karbon): 13—monzogránit, 14—porfiroz monzogránit, 15—ritkaporfiroz monzogránit, 16—kontaminált monzogránit, 17—kontaminált monzonit, 18—monzonit, 19—aplit, pegmatit, mikrogránit, 20—gránitporfir; 21—tektonikus breccsa

**2. ábra.** A felszíni mélyfúrások földtani rétegsora és lyukszerkezete

1 — recens talaj, 2 — lejtő- (deluviális-szoliflukciós) üledék (felső-pleisztocén), 3 — suvadásos-deluviális üledék (felső-pleisztocén), 4 — mocsári üledék (felső-pleisztocén), 5 — csuszamlás üledék (középső-felső-pleisztocén), 6 — lejtőüledék (középső-pleisztocén), 7 — Mendei Löss Formáció, Dunaujvárosi Tagozat (felső-pleisztocén), 8 — Mendei Löss Formáció Basaharci Tagozat (középső-felső-pleisztocén), 9 — Paksi Löss Formáció, Üvegputai Tagozat (középső-pleisztocén), 10 — Paksi Löss Formáció, Udvari Tagozat (alsó-középső-pleisztocén), 11 — Fenyvestetői Vörösgyag Formáció (alsó-középső-pleisztocén), 12 — Rozsdásserpenyői Alkálibazalt Formáció (kréta); Mórággyi Gránit Formáció (alsó-karbon): 13 — monzogránit, 14 — porfiroz monzogránit, 15 — ritkaporfiroz monzogránit, 16 — kontaminált monzogránit, 17 — kontaminált monzonit, 18 — monzonit, 19 — aplit, pegmatit, mikrogránit, 20 — gránitporfir; 21 — tektonikus breccsa

downward from approx. 15-30 m above the groundwater level.

The diameters of the lower stretches of the boreholes were 151 mm (Üh-39A), 120 mm (Üh-43A), 98 mm (Üh-45A) and 93 mm (Üh-42A and Üh-44A). In order to accommodate to these diameters a 90/80 mm and a 60/53 mm PVC stand of filter pipes were employed in the well Üh-39A and the other ones, respectively, during the construction of the well. The annular space was filled with filter gravel, sand, then compactonite, then sand again or loessial drilling chips and finally with cement milk in the uppermost 10 m of the profile. The first water sampling of the well took place thereafter and following water production. During the construction of groundwater observation wells a protective pipe and a pipe cap was mounted on the hole. It was followed by the geodetic positioning of the mark fixed in the concrete around the boreholes (hilti nail). Henceforward monitoring observations are conducted in the wells.

**Piezometric wells** were effected by Rotaqua in two phases. In the first one the boreholes close to the first section of the tunnels were deepened (P1-7) and the rest (P8-21) were penetrated in the second one.

Neither road works nor basis construction occurred to the piezometric boreholes only some field arrangement if necessary. The boreholes were penetrated partly by self-

propelling HF-20 and Edeco-20 rigs and partly by manually delivered and in situ assembled Lumesa SA rig. The baseline data of the boreholes are illustrated in Table 3. The depth of the boreholes varied between 4.00 and 27.8 m, the total depth of the 21 piezometers (P1-21) amounted to 218.89 m, whereas that of the 3 boreholes that were completed neither to piezometers nor to wells (P16A, P16B, P20A) another 18.93 m.

If the self-propelled rig (HF-20 or Edeco-20) was able to get above the hole it drilled in the loose overlying beds till the hard granite top (HF-20: P1, the upper section of P3 and P4, P5; Edeco-20: P11, P14, P15, P16A, P16B and P21). If it was not, the rig Lumesa SA transported in the vicinity of the borehole was carried in parts by hand to the borehole where it was assembled (the lower section of P2, P4, P6-10, P12, P13, P16-20 and P20A).

The final diameter of the boreholes drilled by spiral bit, by coring technique with hard metal bit with simple-wall core barrel and by drilling hammer was 120, 110 and 108 mm, respectively. The first method furnished disturbed samples, the second one intact cores and the third one drilling chips for the borehole log. These diameters enabled the appropriate mounting of the piezometers.

During well completion a 60/53 mm KM-PVC stand of filter pipes was driven in the hole closed by a wooden plug on its bottom with a 2 m-long cut section (filter pipe) above an

**Table 3.** Baseline data of the piezometric boreholes

Piezometric borehole		Coordinates			Bottom	Top of the basement		Groundwater level prior to the well construction		Penetration date
location	code	Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)	m	m bgs	m asl (BS)	m bgs	m asl (BS)	day/month/year
E branch of Cserdülő Valley	P1	615,615.46	96,426.95	160.43	4.00	2.90	157.53	0.42	160.01	14/02/2005
	P2	615,761.77	96,301.31	165.82	5.40	1.50	164.32	0.20	165.62	26/02/2005
	P3	615,854.30	96,139.49	178.39	6.95	3.20	175.19	1.40	176.99	15/02/2005
	P11	615,982.11	95,973.25	206.88	25.44	2.20	204.68	16.50	190.38	16-20/08/2005
Valley of Elek Spring	P4	616,229.71	97,000.96	156.34	5.00	2.20	154.14	0.46	155.88	16/02/2005; 24/02/2005
S branch of Nagymórággy Valley	P5	616,501.33	96,840.25	159.47	5.90	4.50	154.97	2.25	157.22	14/02/2005
	P6	616,511.66	96,693.04	163.25	5.00	0.80	162.45	0.00	163.25	23-24/02/2005
	P7	616,525.75	96,504.65	174.25	9.30	0.60	173.65	6.90	167.35	25/02/2005
W branch of Cserdülő Valley	P8	615,475.11	96,084.29	169.84	7.12	1.44	168.40	3.10	166.74	01/09/2005
	P9	615,484.54	95,895.09	178.22	7.60	1.50	176.72	0.35	177.87	31/08/2005
	P10	615,549.33	95,703.27	185.93	9.32	1.10	184.83	0.40	185.53	02/09/2005
Éva Valley	P12	616,512.71	95,471.42	179.50	8.22	0.45	179.05	3.20	176.30	07/09/2005
	P13	616,522.68	95,382.65	184.00	10.22	0.30	183.70	0.20	183.80	05/09/2005
Mészkeneme Valley	P14	614,747.82	95,422.27	168.25	10.09	4.90	163.35	1.70	166.55	24/08/2005
	P15	614,848.81	95,323.72	172.62	8.62	4.72	167.90	2.15	170.47	23-24/08/2005
	P16	615,000.03	95,200.96	176.75	8.22	0.80	175.95	2.90	173.85	10/09/2005
	P16A	615,019	95,185	178	9.02	5.50	173	0.62	177	25/08/2005
	P16B	615,025	95,185	178	5.23	1.50	177	1.15	177	26/08/2005
	P17	615,390.74	94,866.69	194.42	9.20	1.30	193.12	2.45	191.97	08/09/2005
	P18	615,484.95	94,778.28	203.05	9.32	0.70	202.35	4.40	198.65	09/09/2005
Piezometers replacing shallow boreholes	P19	616,389.39	94,764.29	235.90	27.80	3.70	232.20	23.90	212.00	06/09/2005
	P20	616,408.41	95,819.82	190.24	19.00	10.00	180.24	5.20	185.04	03-04/09/2005
	P20A	616,420	95,790	186	4.68	-	-	-	-	03/09/2005
	P21	615,071.53	95,868.57	174.59	17.05	2.00	172.59	10.50	164.09	21/08/2005
Total					237.70					

EOV = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System, bgs = below ground surface.

approx. 0.5 m blind pipe in its lower part. The annular space was filled with pea gravel, sand and then compactonite. During the preparation of the final well head a 114/100 mm protective steel pipe was installed till approx. 1 m above the surface with lockable well cap. Circle-section, 0.6 m-diameter concrete collars were established in the vicinity of the bed of water streams flowing at the root of the pipe, and 1×1 m square-shaped ones elsewhere. Continuous monitoring of the wells started following purification pumping and water sampling.

Golder performed continuous technical supervision during the penetration of piezometric boreholes. In this case the geological logging was performed on the spot, simultaneously with the drilling. During the completion of the wells water was sampled of them following water production (exploitation of triple hole volume). Other tests were not undertaken in the wells. The geodetic positioning of the boreholes was executed both during the drilling as well as after well completion. Continuous monitoring observations were conducted in the wells.

### Underground Boreholes

The tasks of the underground exploratory boreholes (GYALOG, HÁMOS 2004) as formulated in the underground exploration plan (SZÚCS et al. 2004) were as follows:

- provision of primarily geological, tectonic, geotechnical and hydrogeological baseline information necessary for tunnel driving and tunnel protection (pilot boreholes);

- designation of tracts requiring pre-injection (pilot boreholes, sounding boreholes);

- learning the in situ hydrodynamic properties and the related temporal changes of the examined rock bodies (pilot boreholes, sounding boreholes, hydrogeological [fresh-water-head, tunnel-effect, monitoring and soil-moisture-collecting] boreholes) during well completion;

- hydraulic and rock-mechanical investigation of transformed zones (EDZ) around the tunnels resulting from the tunnel effect (EDZ boreholes);

- study and qualification of the rock-mechanical properties of the investigated rock bodies with regard to further tunnel driving and the establishment of drilling and disposal chambers (pilot boreholes, extensometric and rock-stress boreholes);

In order to meet the aforementioned objectives the following types of boreholes were penetrated:

- pilot boreholes;
- sounding boreholes, injection-control boreholes and injecting boreholes;
- hydrogeological boreholes: freshwater-head boreholes, tunnel-effect boreholes, monitoring boreholes, soil-moisture-collecting boreholes;
- radial EDZ boreholes; small EDZ boreholes;
- rock-mechanical boreholes (extensometric and rock-stress boreholes).

The trace of the underground boreholes related to the inclines and the head tunnels in different locations is illustrated in the next figures as follows: Figure 3—in the N part of the inclines; Figure 4—in the S part of the inclines and in Kishurok; Figure 5—in Nagyhurok. This paper is devoted essentially to major (more than 20-30 m-deep) cored boreholes (pilot, hydrogeological and rock-stress boreholes). With regard to the geotechnical EDZ and extensometric boreholes only the data summarising the whole drilling profile will be given without specifying the information on the single boreholes. The non-cored sounding, injection-control and injecting boreholes will not be reported. They were deepened without coring and they were associated with the technology of the tunnel driving.

The following passage will summarise the drilling activities in the tunnels.

### Pilot Boreholes

The pilot boreholes enabled the definition of the primary hydrodynamic parameters of the in situ geological environment as well as the analysis of its water samples.

36 pilot cored boreholes were effected altogether in 3066.47 metres distributed as follows: 19 in the inclines (14 in the Eastern and 5 in the Western one); of the head tunnels 7 in Kishurok (3 in the Eastern, 3 in the Western and one in the Interconnecting Passageway 8), 6 in Nagyhurok (2 in the Disposal Chamber Service Tunnel, 1 in the Access Tunnel for Disposal Chamber Construction and 3 in the Disposal-interconnecting Tunnel) and 4 related to the sump system (1 in the Pump Bay, 1 in the Supervised Sump Drift and 2 in the Construction Drift for the Sump). Rotaqua penetrated all pilot boreholes with Diamec (282, 262, U8 APC) hydraulically driven rig.

With regard to the inclines the first two boreholes were performed from the ground surface in the trace of the two tunnels. The remaining 17 pilot boreholes were effected in alternation from the Eastern or the Western Incline just driven (BeK-[2-14], BeN-[2-5]) with overlaps between 2.0 and 5.5 m to ascertain the continuity of information and of the borehole profiles. The sole exception was the 50 m-long Pilot Borehole BeN-4 that was aimed at learning the position and the characteristics of the clayey damming zone penetrated in Pilot Borehole BeK-12. The bottom depth of the boreholes varied commonly between 86 and 135 m only the holes at the tunnel bends were shorter (BeK-5: 68.06 m; BeK-6: 37.03 m; BeK-13: 53.81 m; BeN-4: 50.03 m) to ascertain that they stay within the profile of the subsequently driven tunnel caves. Following the penetration of Pilot Borehole BeK-3 all pilot boreholes remained already within the blasted profile in their total length except for the BeK-12 penetrated by 10 m longer from the designed tunnel section in order to specify the trace of the inclines. The layout of the boreholes is displayed in Figures 3 and 4, their registry data are listed in Table 4.

In Kishurok pilot boreholes were penetrated already in both head tunnels and even in the last interconnecting



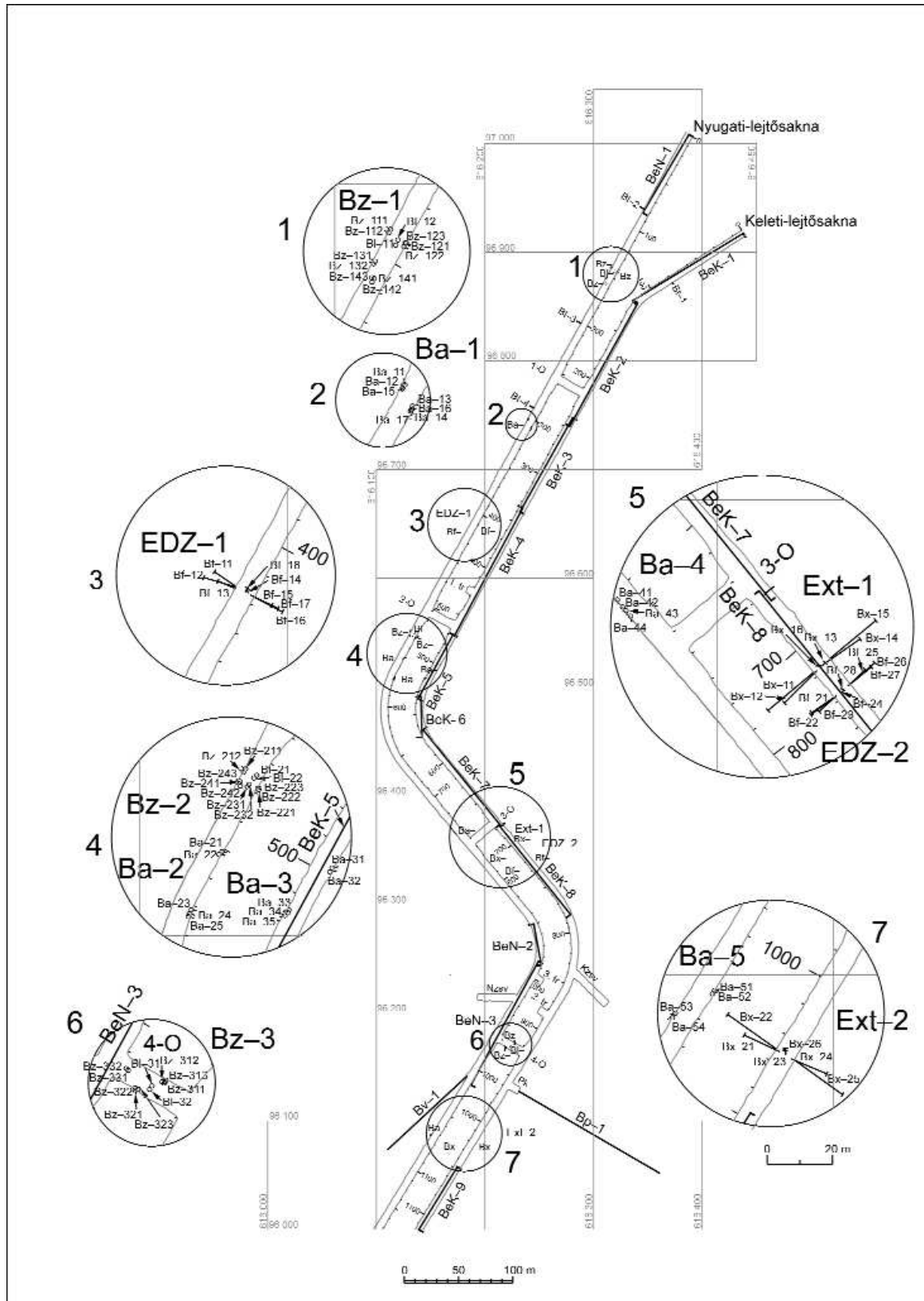


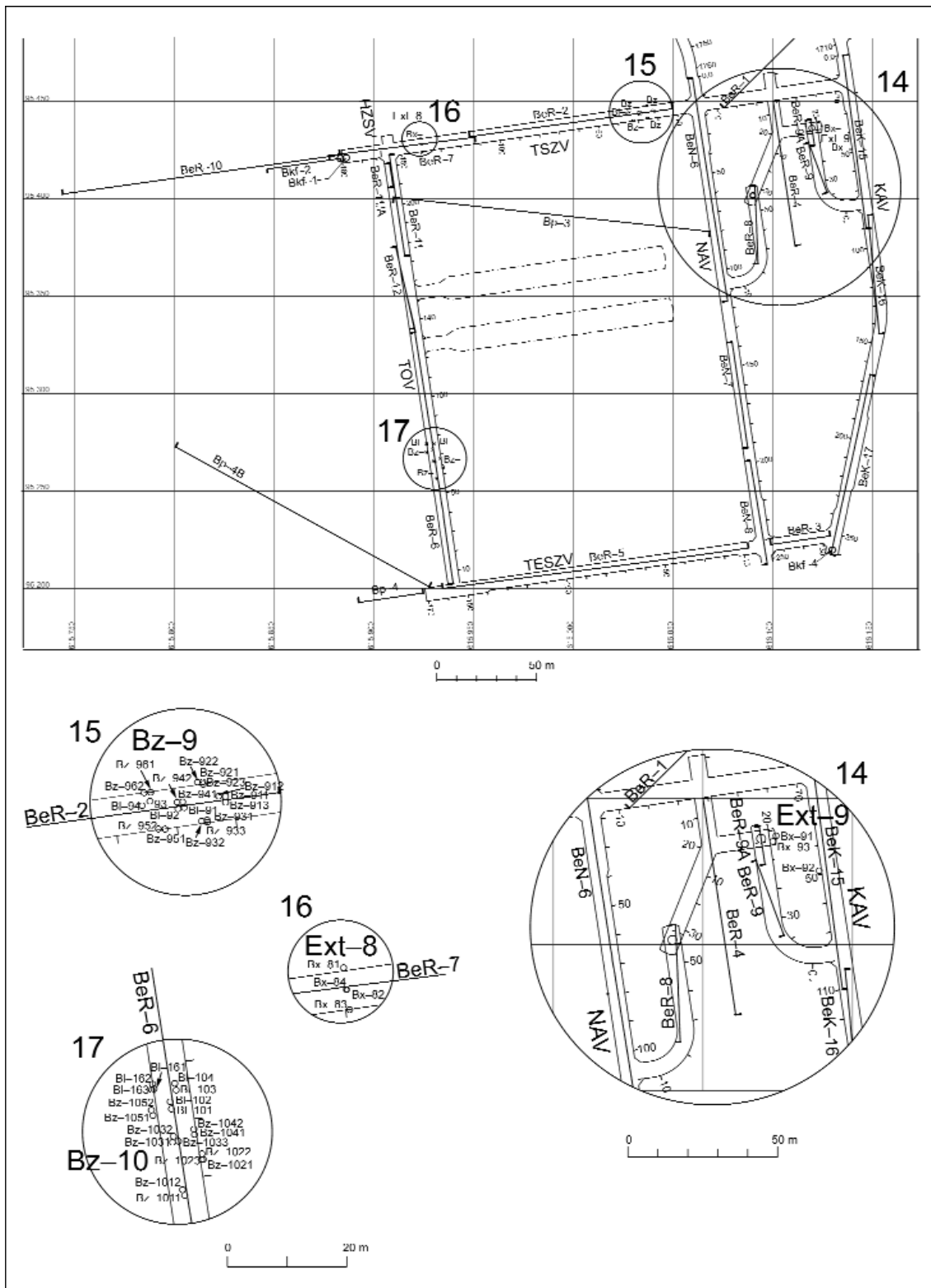
Figure 3. Layout of the boreholes penetrated in the N part of the inclines

-O = Interconnecting Passageway, tr = Transformer Chamber, Nzsv = Western Sump Tunnel, Kzsv = Eastern Sump Tunnel, Pk = Freshwater-head Chamber

3. ábra. A lejtősaknák É-i részén mélyült fúrások helyszínrajza

-O = összekötő vágat, tr = transzformátorkamra, Nzsv = Nyugati zsonpvágat, Kzsv = Keleti zsonpvágat, Pk = Potenciálkamra





**Figure 5.** Layout of the boreholes penetrated from Nagyhurok and the accessory tunnels of Kishurok

TSZV = Disposal Chamber Service Tunnel, TESZV = Access Tunnel for Disposal Chamber Construction, TOV = Disposal-interconnecting Tunnel, ELZS = Supervised Sump Drift, EPZS = Construction Drift for the Sump, HZSV = Emergency Sump Drift, SZK = Pump Bay, SZKK = Eastern Pump Bay, SZKN = Western Pump Bay, KOK = Compressor Chamber. The contour of the radioactive waste repository chambers planned to be driven in 2011 was indicated by dashed lines

**5. ábra.** A Nagyhurokból és a Kishurok kiegészítő vágataiból mélyült fúrások helyszínrajza

TSZV = Tárolói szállítógát, TESZV = Tárolóépítési szállítógát, TOV = Tároló-összekötő vágat, ELZS = Ellenőrzött zomp, EPZS = Építési zompvágat, HZSV = Havária zompvágat, SZK = Szivattyúkammer, SZKK = Keleti szivattyúkammer, SZKN = Nyugati szivattyúkammer, KOK = Kompresszorkammer. Szaggatott vonallal jelöltük a 2011-ben kihajtani tervezett radioaktív hulladék-tároló kamrák kontúrját

Table 4. Registry data of the pilot boreholes in the inclines

Borehole code / tunnel section		Start and end coordinates of the borehole*			Tunnel metre		Bottom	Dia-meter	Azimuth	Dip	Penetration date (day/month/year)	
KA	NA	Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)	drill start	drill end	m	mm	degree	degree	start	end
BeK-1		616,437.87 616,336.46	96,917.11 96,855.32	163.96 156.20	0.0	120.0	120.00	96	238.4	-2.29	21/10/2004	06/11/2004
	BeN 1	616,387.91 616,345.41	97,008.11 96,935.96	160.19 159.96	0.0	100.0	100.00	96	210.5	0.13	15/11/2004	23/11/2004
BeK-2		616,340.81 616,278.12	96,853.04 96,739.45	153.10 145.38	116.9	245.68	129.70	76	208.9	-3.43	26/05/2005	07/06/2005
BeK-3		616,280.80 616,232.29	96,747.32 96,660.74	141.62 129.40	242.6	339.21	96.61	76	209.3	-7.25	30/07/2005	15/08/2005
BeK 4		616,234.85 616,172.02	96,664.10 96,546.77	132.43 120.20	335.0	470.0	135.00	76	208.2	5.20	25/09/2005	21/10/2005
BeK 5		616,170.62 616,138.46	96,547.69 96,488.63	120.18 113.92	468.0	536.0	68.06	96	208.6	5.27	29/11/2005	09/12/2005
BeK-6		616,141.09 616,141.75	96,490.38 96,463.45	113.46 110.71	533.3	570.3	37.03	96	178.6	-4.24	08/03/2006	14/03/2006
BeK-7		616,143.13 616,214.87	96,459.90 96,371.32	110.38 99.89	564.6	679.1	91.70 114.48	96 76	141	-5.07	05/04/2006	23/04/2006
BeK 8		616,212.91 616,278.79	96,372.13 96,290.02	99.98 89.98	677.2	783.3	106.10	96	141.3	5.4	13/06/2006	28/06/2006
	BeN 2	616,244.98 616,251.88	96,281.20 96,243.35	88.74 84.77	847.8	887.7	39.94	96	169.9	5.69	08/09/2006	12/09/2006
	BeN-3	616,249.23 616,187.18	96,246.72 96,133.01	84.39 73.64	884.2	1014.7	130.47	96	208.7	3.63	26/09/2006	09/10/2006
BeK-9		616,174.59 616,122.46	96,057.59 95,972.61	64.29 54.77	1045.9	1146.1	100.16	96	211.6	-5.52	11/02/2007	21/02/2007
BeK-10		616,124.19 616,078.14	95,975.19 95,900.66	54.64 54.57	1143.0	1232.0	87.99	96	211.8	-5.91	10/04/2007	18/04/2007
BeK 11		616,081.87 616,024.71	95,905.43 95,807.93	47.37 33.96	1225.0	1338.8	39.91 113.77	96 76	210.4	6.77	06/06/2007	17/06/2007
BeK-12		616,023.73 615,966.93	95,810.22 95,705.13	36.08 22.15	1337.0	1458.0	64.67 86.57	96 76	209.1	-5.70	03/09/2007	15/09/2007
	BeN-4	615,973.00 615,954.00	95,788.75 95,742.56	33.16 26.56	1421.8	1471.8	50.03	96	202.5	-6.88	24/09/2007	28/09/2007
BeK-13		615,988.53 616,010.35	95,734.93 95,683.13	27.61 20.95	1423.0	1478.3	53.81	96	157	-4.23	21/10/2007	06/11/2007
BeK 14		616,011.27 616,075.78	95,687.72 95,581.15	23.69 12.66	1474.9	1589.5	114.59	96	149	5.01	27/11/2007	12/12/2007
	BeN 5	616,023.93 616,062.14	95,557.20 95,464.02	11.92 2.40	1670.4	1771.6	101.16	96	158	5.35	14/02/2008	27/02/2008

\* = Start and end coordinates bellow each other, KA = Eastern Incline, NA = Western Incline; EOv = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System.

passageway (8: BeK-[15-17], BeN-[6-8] and BeR-3). Their layout and registry data are presented in Figure 4 and Table 5, respectively.

In the tunnels of Nagyhurok all tunnel driving activities were also preceded by pilot boreholes. They were distributed as follows: Boreholes BeR-2 and BeR-7 in the Disposal Chamber Service Tunnel, BeR-5 in the Access Tunnel for Disposal Chamber Construction and BeR-6, BeR-11 and BeR-12 in the Disposal-interconnecting Tunnel. The tunnels of the sump system within Kishurok were headed also during this phase, an operation which was also accompanied by pilot boreholes. 4 boreholes were penetrated here altogether in three different tunnels, namely the BeR-4, the BeR-8 and the BeR-(9-9A) in the trace of

the Pump Bay, the Supervised Sump Drift and the Construction Drift for the Sump, respectively (their layout and registry data are presented in Figure 5 and Table 6).

In order to reduce the eventual negative impact of the deflection from the tunnel section and to subdue the amount of water flowing out of the boreholes the majority of the pilot boreholes were backfilled with cement or bentonitic cement in their total length following the execution of the measurement operations. Provided that the borehole remained within the tunnel section without considerable water inflow (3-6 l/min or more) the holes were not backfilled.

The length of the enlarged and cemented tracts equipped with conductor pipe varied between 4.25 and 14.58 m as a

Table 5. Registry data of the pilot boreholes in Kishurok

Tunnel code	Borehole code	Start and end coordinates of the borehole*			Tunnel metre		Bottom m	Dia- meter mm	Azimuth degree	Dip degree	Penetration date (day/month/year)	
		Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)	drill start	drill end					start	end
KAV	BeK 15	616,135.35	95,473.60	2.38	0.0	94.19	94.19	96	171	1.95	27/05/2008	15/06/2008
		616,148.84	95,380.47	1.26								
	BeK-16	616,147.50	95,391.62	0.31	83.6	145.39	61.79	96	174	-1.76	15/01/2009	22/01/2009
		616,153.25	95,330.13	2.35								
	BeK 17	616,148.69	95,309.72	2.85	165.9	260.23	94.33	96	192	0.91	07/03/2009	15/03/2009
		616,128.96	95,217.52	1.41								
NAV	BeN 6	616,059.47	95,462.57	2.28	0.0	116.00	115.97	96	171	2.62	18/06/2008	16/07/2008
		616,077.14	95,348.10	3.37								
	BeN-7	616,079.44	95,326.55	0.73	137.2	191.96	54.76	96	172	-1.15	07/12/2008	29/12/2008
		616,087.24	95,272.36	0.53								
	BeN-8	616,088.55	95,265.78	3.20	199.1	253.00	53.90	96	171	-1.93	16/03/2009	19/03/2009
		616,097.09	95,212.60	1.10								
8O	BeR-3	616,128.55	95,226.98	2.05	4.0	34.02	30.02	96	82	-3.00	08/04/2009	09/04/2009
		616,128.55	95,226.98	2.05								

\* = Start and end coordinates below each other, KAV = Eastern Head Tunnel, NAV = Western Head Tunnel, 8O = Interconnecting Passageway 8; EOV = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System.

Table 6. Registry data of the pilot boreholes of Nagyhurok and the sump system of Kishurok

Tunnel code	Borehole code	Start and end coordinates of the borehole*			Tunnel metre		Bottom m	Dia- meter mm	Azimuth degree	Dip degree	Penetration date (day/month/year)	
		Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)	drill start	drill end					start	end
TSZV	BeR-2	616,049.56	95,446.19	2.74	12.00	114.75	102.75	96	261	-2.02	04/03/2009	19/03/2009
		615,947.93	95,431.93	0.62								
	BeR 7	615,950.73	95,431.54	2.76	112.40	186.07	73.67	96	263	2.29	27/09/2009	03/10/2009
		615,877.69	95,422.28	0.05								
TESZV	BeR 5	616,087.64	95,220.83	5.61	8.20	162.94	154.74	96	262	11.30	31/05/2009	11/06/2009
		615,934.49	95,199.04	2.99								
TOV	BeR 6	615,939.65	95,202.8	4.7	3.50	136.07	132.57	96/76	352	1.65	31/08/2009	12/09/2009
		615,920.10	95,333.55	0.06								
	BeR-11 (111A)	615,907.71	95,418.28	2.65	7.10	59.65	52.55	96	171	-2.30	29/11/2009	10/12/2009
		615,915.47	95,366.34	0.54								
	BeR-12	615,920.77	95,331.64	3.38	134.00	175.30	41.52	96/76	347	-1.70	22/12/2009	29/12/2009
		615,911.23	95,372.03	2.27								
SZK	BeR 4	616,100.09	95,450.19	1.94	38.40	75.00	75.00	96	165	0.40	25/05/2009	30/05/2009
		616,114.07	95,376.6,	0.36								
ELZS	BeR-8	616,092.40	95,366.75	-3.58	22.70	63.40	40.14	96	358	-1.29	10/12/2009	13/12/2009
		616,090.85	95,406.83	-4.48								
EPZS	BeR-9	616,127.04	95,403.27	3.26	23.00	52.80	29.00	96/76	340	-3.48	12/02/2010	15/02/2010
		616,117.15	95,430.47	5.02								
	BeR-9A	616,120.72	95,427.36	5.62	49.00	63.00	14.03	96	351	-3.82	06/03/2010	07/03/2010
		616,118.58	95,441.20	-6.56								

\* = Start and end coordinates below each other, TSZV = Disposal Chamber Service Tunnel, TESZV = Access Tunnel for Disposal Chamber Construction, TOV = Disposal-interconnecting Tunnel, SZK = Pump Bay, ELZS = Supervised Sump Drift, EPZS = Construction Drift for the Sump; EOV = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System.

function of the state of the rock including primarily its stability, state of fracturing and the orientation of the fracture zones.

### Hydrogeological Boreholes

Concerning the hydrogeological boreholes freshwater-head (Bp-[1-3]), tunnel effect (Bv-1), monitoring (Bm-3 and -4) and soil-moisture-collecting boreholes were

effected in the inclines and head tunnels. All the related holes got off the section of inclines and drilling chambers. Multipacker observation systems or soil-moisture-collecting sounds were installed in the boreholes. The registry data of the boreholes are presented in Table 7.

With regard to the **freshwater-head boreholes** the Bp-1 was deepened from the tail of the 9.1 m-long Freshwater-head Chamber driven at right angle from the E side of the Eastern Incline at its 956.1 m, parallel with the direction of the chamber axis (Figure 3). It was penetrated with the same technology as the pilot boreholes. A 5.3 m-long and 108/98 mm-diameter conductor pipe was cemented in the borehole down to the depth of 5.04 m; the borehole was then enlarged to 121 mm. The borehole was deepened with HQ diameter and coring down to its 150.16 m bottom. During its drilling the water inflow of highest yield was detected in the inclines. Initially, a 160 l/min outflow yield was recorded of the open fractures of the section between 9 and 13 m; it occurred to be still around 100 l/min following a discharge period of two weeks. The water inflow was stopped by a multipacker

observation system installed in the hole and the injection of the face of the Freshwater-head Chamber.

Borehole Bp-2 was drilled from the tail of the 35 m-long Testing Chamber 2 oriented 89° driven at right angle from the E side of the Eastern Incline at its 1714.0 m (Figure 4).

The Bp-3 was started from the 79.50 m of the Eastern Head Tunnel towards W (at 276°) aimed at getting knowledge on the space beneath the plane of the designed chambers and the alkaline volcanic dyke crossed in the inclines (Figure 4).

Freshwater-head Borehole Bp-4 was drilled of the very end of the Access Tunnel for Disposal Chamber Construction (172.10 m) in its continuation in westerly direction. It could not fulfil its projected function, for it failed while crossing the Patrik Fault. Hence it was stopped at 32.61 m. Its task was taken over by Borehole Bp-4B penetrated of the 168.0 m of the Access Tunnel for Disposal Chamber Construction in north-westerly direction. In this borehole the section of the fault zone was excluded by a 114/110 conductor pipe facilitating to succeed with implementing the multipacker system in the hole.

Table 7. Registry data of hydrogeological boreholes

Tunnel section	Borehole code	Start and end coordinates of the borehole*			Tunnel metre m	Bottom m	Dia- meter mm	Azimuth degree	Dip degree	Penetration date day/month/year
		Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)						
4KK	Bp 1	616,230.96	96,127.30	73.58	9.0	150.16	96	120.18	4.40	29/11 18/12/2006
		616,360.31	96,052.07	62.07						
12KK	Bp 2	616,168.77	95,495.88,	3.85	34.5	120.26	96	89.42	2.62	19/08 04/09/2008
		616,288.90	95,497.28	-1.52						
NAV	Bp 3	616,067.94	95,383.22	1.11	79.5	160.34	96	276.07	5.40	30/01 14/02/2009
		615,909.24	95,399.94	-16.67						
TESZV	Bp-4	615,924.58	95,197.73	6.52	172.1	32.61	96	261.52	1.98	25 30/08/2009
		615,892.32	95,192.92	5.41						
	Bp-4B	615,927.39	95,201.15	3.92	168.8	150.00	96	299.52	-13.28	05-26/01/2010
		615,800.44	95,273.24	-30.54						
TSZV	BeR 10	615,882.85	95,422.47	4.28	180.2	140.50	96	261.80	1.70	29/11 12/12/2009
		615,744.34	95,402.51	0.22						
NA	Bv 1	616,183.71	96,141.41	71.44	**1009.2	100.15	96	227.15	4.10	03 11/01/2007
		616,110.49	96,073.49	64.28						
7KK	Bm-3	616,063.92	95,805.99	38.01	33.6	84.82	96/76	121.01	-5.75	21/10-20/11/2007
		616,136.23	95,762.53	29.51						
	Bm-4	616,063.11	95,805.30	37.73	33.6	77.80	96/76	127.72	-11.19	13-19/12/2007
		616,123.47	95,758.62	22.63						
KA	Bt 1	616,372.37	96,872.01	155.82	80.0	2.35	38	147.4	10	02/05/2005
		616,373.61	96,870.06	155.41						
NA	Bt-2	616,346.87	96,939.25	157.75	80.0	2.35	38	298.9	-10	02/05/2005
		616,342.48	96,941.68	157.34						
	Bt-3	616,288.78	96,834.02	146.38	201.0	5.10	38	298.9	-10	02/01/2007
		616,284.39	96,836.45	145.97						
	Bt-4	616,245.45	96,756.03	139.29	290.0	5.10	38	298.9	-10	02/01/2007
		616,241.06	96,758.46	138.88						

\* = Start and end coordinates below each other, Bp- = freshwater-head borehole, BeR- = freshwater-head borehole which was started as pilot borehole, Bv- = tunnel-effect borehole, Bm- = monitoring borehole, Bt- = non-cored soil-moisture-collecting borehole; KA = Eastern Incline, NA = Western Incline, 4KK = Chamber 4 (Freshwater-head Chamber), 7KK = Chamber 7 (Rock-stress Chamber), 12KK = Chamber 12 (Testing Chamber 2), NAV = Western Head Tunnel; Direction = average azimuth; EOVS = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System. \*\* The tunnel metre of the end point of Borehole Bv-1 projected on the axis of the tunnel is 1104.3 m.

Borehole BeR-10 was effected from the end point of the Disposal Chamber Service Tunnel (180.20 m) in its continuation in westerly direction. It started as a pilot borehole but during its execution it was decided to implement the multipacker system in it and consequently, to reassign it as a freshwater-head borehole.

The Tunnel-effect Borehole (Bv-1) was started at the 1009.2 m of the Western Incline from the excavation created on the right side of the tunnel and it proceeded along the plane of the tunnel axis by deflecting at approx. 16° in westerly direction (approx. with the azimuth of 227° and dip of -4.1°; Figure 3). It was deepened with HQ diameter and coring to its 110.15 m bottom. The same technology of penetration was used as in the pilot boreholes and Bp-1. A 4.56 m-long and 108/98 mm-diameter conductor pipe was cemented in the borehole down to the depth of 4.44 m in the hole section enlarged to 121 mm. The start and the end point of the borehole deflect by approx. 0.9 m and 28.1 m to the west from the tunnel mantle.

The **monitoring boreholes** (Bm-3 and -4) were penetrated from the tail of Chamber 7, the 33.6 m-long Rock-stress Chamber opening towards ESE at the 1320.0 m of the Eastern Incline (Figure 4) with HQ (96 mm) diameter to 13.83 and 12.29 m, respectively, and with NQ (76 mm) diameter to the bottom. 89/78 mm-diameter conductor pipes were cemented in the borehole tracts with HQ diameter. The distance between the start points of the two boreholes is approx. 1 m, whereas they go apart by approx. 11 and 7 m in horizontal projection and in altitude, respectively, i.e. the distance between the end points of the two boreholes is approx. 13 m. The closeness of the two boreholes facilitated the collation of the geological, tectonic, geotechnical, geophysical and hydrogeological parameters.

The first 35.51 m section of Borehole Bm-3 was effected as rock-stress borehole (see below).

The soil-moisture-collecting boreholes were penetrated with non-coring method. Initially they were comparatively short but subsequently, they were deepened further to study the three-phase unsaturated zone extending as a result of the formation of a depression space brought about by the tunnel (Figure 3). Considering the encountered in situ hydro-geological conditions as well as the border of the two-phase and three-phase zones two soil-moisture-collecting boreholes were penetrated in 2005 each with 2.35 m length, namely the Bt-1 and the Bt-2, the first one in the 80.0 m of the Eastern Incline on the E sidewall, the second one in the 80.0 m of the Western Incline on the W sidewall. In 2006 Boreholes Bt-3 and Bt-4 were effected in the 201.0 m of the Western Incline on the W sidewall and in the 290.0 m of the Western Incline equally on the W sidewall, respectively, each in 5.1 m length. The holes were drilled with a manual hammer drill with 10° dip and 38 mm diameter.

### Rock-mechanical Boreholes

Two borehole groups were effected for rock-mechanical studies:

- rock-stress boreholes,
- extensometric boreholes.

The first group of rock-stress boreholes (Bm-[1-3], 4) was deepened at the end of Chamber 7, the 33.6 m-long Rock-stress Chamber established at the 1320.0 m of the Eastern Incline at right angle to the tunnel in ESE direction to enable core-overdrilling and case-splitting probing in situ rock-stress measurements (Table 8). They defined the stress axes, their measure and the related elasticity parameters in the plane perpendicular to the borehole axes. The total length of the three boreholes, approx. perpendicular to one another was 30.43, 30.37 and 35.51 (altogether 96.31) m. The first

Table 8. Registry data of rock-stress boreholes

Tunnel section	Borehole code	Start and end coordinates of the borehole*			Tunnel metre	Bottom m	Dia meter mm	Direction of the hole	Azimuth/dip degree	Penetration date day/month/year
		Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)						
7KK	Bm 1	616,061.96	95,807.30	36.96	32.6	30.43	96/76	approx. 1 m before the front wall of the chamber in the bottom downward	169/89.5	30/9 12/10/2007
		616,061.99	95,807.10	6.53						
	Bm 2	616,063.73	95,809.62	37.91	32.6	30.37	96/76	approx. 1 m before the front wall of the chamber, on its left side, at right angle to the chamber axis	31/ 6.3	13 21/01/2007
		616,079.38	95,835.43	34.60						
	Bm-3	616,063.92	95,805.99	38.01	33.6	35.51**	96/76	from the front wall of the chamber towards the chamber axis	121/-5.6	21-31/01/2007
		616,094.21	95,787.81	34.52						
TSZV	Bkf 1	615,887.01	95,423.40	0.34	176.2	32.83	178/76	at the end of the Disposal Chamber Service Tunnel	356/ 89.74	21 31/01/2007
		615,887.00	95,423.54	-32.49						
	Bkf 2	615,882.95	95,420.54	1.58	180.2	37.27	178/76	at the end of the Disposal Chamber Service Tunnel on the bottom	262/ 2.69	21/12/2009-19/02/2010
		615,846.11	95,415.20	-0.17						
KAV	Bkf-4	616,129.93	95,219.48	1.23	258.3	41.87	178/76	at the end of the Eastern Head Tunnel, on the bottom	271/90	21/12/2009 19/02/2010
		616,129.82	95,219.48	40.64						

\* = Start and end coordinates below each other, 7KK = Chamber 7 (Rock-stress Chamber), TSZV = Disposal Chamber Service Tunnel, KAV = Eastern Head Tunnel; EOV = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System. \*\* Further deepened as monitoring borehole up to 84.42 m.

13.8–15.0 m-long conductor-piped section of the boreholes was effected as a 96 mm cored borehole in order to avoid the impact of the tunnels modifying the stress state. Some 16 core-overdrilling measurements were performed by Bomix Ltd in the following section drilled with 76 mm diameter to the bottom. The core-overdrilling stress measurement was an integral part of the drilling process with continuous optical borehole televiewer inspection to control the state of the hole and the quality of its bottom.

Well-logging was performed in two phases in the boreholes (before casing and after reaching the final bottom). Case-splitting in situ stress tests were executed in the open profile of each borehole either (KBFI-Alfa Ltd). Following the termination of the full measurement campaign the boreholes Bm-1 and Bm-2 were abandoned after pressure cementing, whereas the hole Bm-3 was further deepened as monitoring borehole, and it served for hydrogeological investigations.

In 2010 rock-stress boreholes were penetrated in association with the driving of Nagyhurok as well. 3 boreholes were drilled (Bkf-1, -2, -4) in this stage, a fourth one will be effected later. The related measurements involved CSIRO-cell and core-overdrilling tests with the same objective as in the Bm borehole family in order to define the main stress axes in the near-chamber domain. The measurements were performed by Kőmérő. In the first section of the boreholes a 21 m-long hole was drilled, 96 mm in diameter enlarged in three steps to the 178 mm final diameter (122 mm, 146 mm and 178 mm) and a 168/152 mm casing was implemented. The measurement campaign was launched thereafter.

Borehole Bkf-1 was penetrated at the 176.2 m of the Disposal Chamber Service Tunnel on the bottom downwards in a length of 32.83 m. The Bkf-2 was deepened also here from the closing face of the Transport Tunnel (180.20 m) in westerly direction with the bottom of 32.27 m. Borehole Bkf-4 was effected at the “tail” of the Eastern Incline

(258.30 m) on the bottom attaining the borehole bottom of 41.87 m.

Concerning the extensometric measurements boreholes were established in the extensometric sections, in the HGM Chamber and in extensometric arrangement to the borehole extensometers (Table 9).

The **extensometric boreholes** enabled the implementation of extensometers serving for the measurement of radial displacements in 4 sections occurring in the tunnel mantle. An important factor of selecting the site of the sections was that they should investigate rock sections of various rock-mechanical states:

— rock section of good state—Section Ext-1 at the 707.2 m of the Eastern Incline, (Borehole Bx-[11–16], Figure 3, 5);

— rock section of poor state—Section Ext-2 at the 1025.0 m of the Western Incline, (Borehole Bx-[21, 23–26], Figure 3, 7);

— rock section of poor state—Section Ext-3 at the 1360.8 m of the Western Incline, (Borehole Bx-[31–32, 34–36], Figure 4, 9);

— section crossing of larger tunnel diameter—Section Ext-4 at the 1492.2 m of the Western Incline just before the side-branch in face of the Interconnecting Passageway 4, (Borehole Bx-[41–46], Figure 4, 10).

The sections were established invariably approx. 1.5–2.0 m in face of the actual tunnel face before going on with the tunnel driving. 6 cored boreholes were effected by each section with their depth varying between 18 and 20 m arranged as demonstrated in Figure 6 with the total length of 446.34 m. The penetration of the boreholes accommodated invariably to the type and the geometric parameters of the extensometers and data collectors to be implemented as well as to the necessary protection of the instruments. The diameter of the boreholes drilled in the different sections can be listed as follows: 76, 96 and 110 mm in Ext-1; 76 and 96 mm in Ext-2 and 96 mm in Ext-3 and -4. In Boreholes Bx-21, -25, -31 and -32 of the Sections Ext-2 and -3 the

**Table 9.** Registry data of the boreholes of extensometric sections

Section code	Location tunnel/m	Borehole codes	Start coordinates of the first borehole			Bottoms m	Borehole directions*	Penetration date month/year
			Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)			
Ext-1	KA/707.2	Bx-(11-16)	616,229.84	96,347.25	96.98	18.3-18.5	WNW down, up; vert. up; ESE up, down; vert. down	07-08/2006
Ext-2	NA/1025.0	Bx-(21-26)	616,182.65	96,077.13	66.24	18.3-18.5	WNW down, up; vert. up; ESE up, down; vert. down	01/2007
Ext-3	NA/1360.8	Bx-(31-36)	616,001.76	95,842.44	38.74	18.5-19.85	WNW down, up; vert. up; ESE up, down; vert. down	08/2007
Ext-4	NA/1492.2	Bx-(41-46)	615,954.76	95,723.99	27.01	18.5-19.81	WSW down, up; vert. up; ENE up, down; vert. down	11/2007
Ext-6	11KK	Bx-(61-64)	616,120.10	95,487.22	4.41	27.15-27.91	South	09/2008
Ext-7	7-O	Bx-(71-74)	616,113.10	95,454.15	2.75	20.51-20.87	East	11/2008
Ext-8	TSZV/139.5	Bx-(81-84)	615,923.12	95,431.24	2.62	18.49-20.07	South, North	10/2009
Ext-9	KAV/39.4; 48.7 SZKK/22.0	Bx-(91-93)	616,137.12	95,438.98	0.30	11.51-15.45	West	11/2009- 02/2010

KA = Eastern Incline, NA = Western Incline, 11KK = Chamber 11 (Transformer Chamber 5), 7O = Interconnecting Passageway 7; EOV = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System. \* = At right angle to the tunnel axis; vert. = vertically.



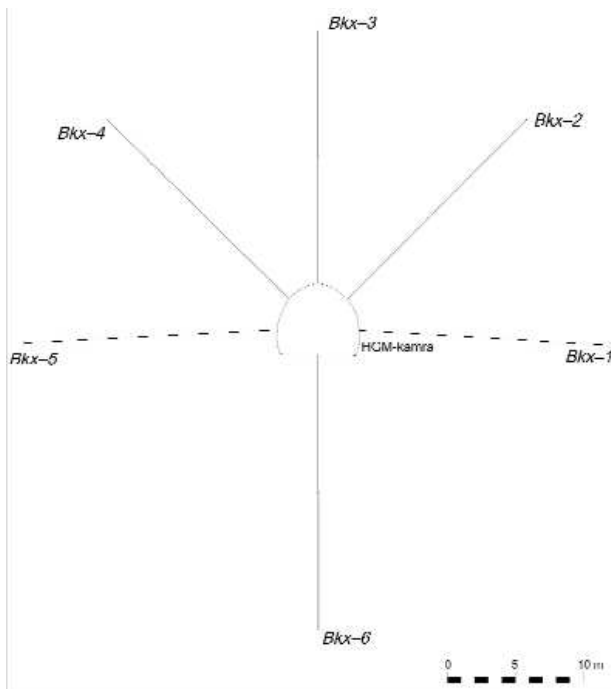


Figure 6. Position of Boreholes Bkx-(1-6) related to the tunnel in the vertical plane perpendicular to the axis of the HGM Chamber (the plane is oriented 150–330°)

6. ábra. A Bkx-(1-6) fúrásnak a vágathoz viszonyított helyzete a HGM-kamra tengelyére merőleges, függőleges síkban (a sík iránya 150–330°)

instability of the hole sidewall and the water inflow alternating between 10 and 80 l/min required packer sealing, micro-cement and poliuretanic injection as well as redrilling to ascertain safe implementation.

As a function of the state of the boreholes technical well-logging and in case of need optical borehole televiewer checking were performed in them. When the measurements presented a certain risk to the rapid and efficient implementation of the instruments the measurements were cancelled upon the decision of the responsible professional executive.

Another type of instrument was also applied for the extensometer tests in the tunnels, called **borehole extensometers**. The untraditionally implemented extensometers serve for the measurement of deformation provoked by the transformation of the in situ stress field as well as for the estimation of the elasticity modulus of the rock body. While in case of the radial sections the face is always behind the section enabling to measure the effect of advance with the tunnel driving, the arrangement of the borehole extensometers facilitated to observe the impact of the approach and the passing of tunnel faces on the points of measurement. It allowed drawing conclusions on how the rock body reacts on these effects.

This measurement technique was applied four times, in the Ext-(6–9) extensometric arrangement (Figure 4, 11). In the arrangements 6 and 7 the measurement systems were established in the direction of the Interconnecting Passageway 7 from the Transformer Chamber 5 above and along the Interconnecting Passageway. 4 holes were effected

at both sections with the diameter of 96 mm (HQ). They are longer than the radial extensometers; 27 and 20 m at the Ext-6 and the Ext-7, respectively. Well-logging and borehole televiewer inspections were performed in each hole to check the state of the hole sidewall. Given that a hole was inappropriate for the implementation of the instruments the suitable state of its sidewall was ensured by tampon cementing (DEÁK, KOVÁCS 2009).

The Section Ext-8 was established in the Disposal Chamber Service Tunnel in order to measure the impact of the tunnel passing. The 4 boreholes were implemented in the 139.5 m of the tunnel with HQ diameter.

The Section Ext-9 was devoted to investigate the rock-mechanical impact of driving of the Construction Drift for the Sump. The boreholes were deepened in three different locations the Bx-91 in the 34.90 m- and the Bx-92 in the 48.70 m of the Eastern Head Tunnel (in westerly direction with HQ diameter) and the Bx-93 in the end of the eastern branch of the Pump Bay, on the bottom with 76 mm diameter.

### Boreholes of the HGM Chamber

One group of the so-called EDZ boreholes was the borehole group drilled from the so-called HGM Chamber (hydrogeological-geomechanical monitoring chamber; in the exploration plan they figured as the boreholes of the section with complex instrumentation [KMSZ boreholes]). 2 hydrogeological, as well as 6 extensometric and 6 CSIRO-cell boreholes were deepened from the Chamber 9KK called HGM Chamber.

The boreholes started from the vicinity of the end of the so called HGM Chamber 22.4 m-long during the drilling; the chamber was driven from the 1457.9 m of the Eastern Incline towards ENE (Figure 4, 10). The Bkh-(1-2) (hydrogeological) boreholes were launched in front of the end of the Chamber (at 18.3 and 19.6 m, respectively), whereas the Bkc-(1-6) (CSIRO-cell) and the Bkx-(1-6) (radial extensometric) boreholes began in 18.51–18.76 m and in 20.55 m, respectively. All of them were penetrated with coring, except for the 0–4 cm advances of the Bkc (CSIRO-cell) boreholes while polishing up.

Well-logging was accomplished by Geo-Log in Borehole Bkh-(1-2), whereas in the Bkx boreholes (only in the Bkx-[1-3] and Bkx-5) it was undertaken by Karotázs. Measurements were not effected in the Bkc boreholes.

The main features of the related boreholes are demonstrated in Table 10.

Concerning the **hydrogeological boreholes**, the Bkh-1 started at the 18.3 m of the HGM Chamber from its left side, whereas the Bkh-2 was launched at the 19.6 m of the Chamber from the tunnel bottom, 1 m eastwards of the central line of the Chamber; they were drilled with HQ diameter to 2.30 and 2.34 m, respectively, then by NQ to their bottom. In the boreholes packer tests were executed by Golder, complex well-logging and borehole televiewer inspections by Geo-Log and geological-tectonic logging as well as core scanning by MÁFI.

Table 10. Main data of the boreholes of the HGM Chamber

Borehole type	Borehole code	Start and end coordinates of the borehole*			Bottom m	Bottom of coring** m	Diameter mm	Azimuth degree	Dip degree	Penetration date month/year						
		Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)												
Hydrogeo- logical	Bkh 1	616,018.94	95,716.26	24.39	0.00	96/76	29.40	2.35	02/2008							
		616,038.70	95,751.24	22.75	40.21		29.40	2.31								
	Bkh 2	616,020.86	95,714.38	23.31	0.00		61.70	29.76	02/2008							
		616,052.48	95,730.07	4.42	40.05		62.00	26.16								
CSIRO- cell	Bkc 1	616,022.40	95,710.32	25.21	0.00	60/37.7	67.60	+3.04	03/2008							
		616,034.86	95,715.46	25.93	13.52		13.50	74.30		+2.93						
	Bkc 2	616,022.41	95,710.15	25.21	0.00		58.29	+8.13	03/2008							
		616,035.39	95,713.80	25.90	13.52		13.50	74.30		+2.93						
	Bkc 3	616,020.14	95,713.10	28.49	0.00		54.48	+15.58	04/2008							
		616,031.51	95,720.12	30.40	13.52		13.51	54.48		+15.58						
Bkc-4	616,020.47	95,712.10	28.30	0.00	50.28	+2.95	05/2008									
	616,031.05	95,719.66	31.93	13.51	13.50	50.28		+2.95								
Bkc-5	616,019.26	95,715.99	25.28	0.00	42.16	+2.95	04/2008									
	616,029.63	95,724.61	25.97	13.55	13.54	42.16		+2.95								
Bkc 6	616,019.11	95,716.12	25.26	0.00	146/96	149.27	-3.12	03/2008								
	616,028.96	95,726.91	25.95	13.53					13.50							
Bkx 1	616,024.05	95,711.60	25.01	0.00					146/96	149.10	+46.07	03/2008				
	616,033.49	95,695.72	24.00	18.50												
Bkx 2	616,023.54	95,712.27	27.53	0.00									146/96	4.08	+89.33	03/2008
	616,030.13	95,701.26	40.85	18.50												
Bkx 3	616,022.49	95,714.04	28.18	0.00	146/96	329.47	+43.93	03/2008								
	616,022.50	95,714.26	46.68	18.50												
Bkx 4	616,021.39	95,715.97	27.44	0.00					146/96	329.56	-3.38	03/2008				
	616,014.62	95,727.45	40.27	18.50												
Bkx-5	616,021.08	95,716.44	25.01	0.00									146/96	4.05	89.39	03/2008
	616,011.72	95,732.36	23.92	18.50												
Bkx-6	616,022.51	95,714.09	23.22	0.00	146/96	4.05	89.39	03/2008								
	616,022.53	95,714.09	3.22	20.00												

\* = Start and end coordinates bellow each other, EOV = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System. Coordinates of the borehole 0 points: Mecsekérc, Department of Geodesy; end point coordinates, azimuths and dips of the boreholes: Bkh-(1-2) – skew measurement data of Geo-Log; Bkc-(1-6) – skew measurement data of Karotázs; Bkc-(1-6) – calculated by Mecsekérc upon the direction and the length of the boreholes. \*\* Shown if it was less than the total depth.

The CSIRO-cell (Bkc-[1-6]) boreholes were drilled between the HGM Chamber 18.51 and 18.76 m first with 60.0 mm (BQ) diameter to 13.00 m followed by polishing their bottom between 13.01 and 13.04 m. Subsequently, 50 cm-long pocketholes were drilled, 37.7 mm in diameter and finally, the bottom of 13.51–13.55 m was reached with another round of polishing. Thereafter the borehole was injected with micro-cement and the cement plug was bored. In case of need the hole was cleaned then and a 56 mm technical protection pipe was installed. Rock-mechanical tests were executed by Bomix in the boreholes.

The layout of Boreholes Bkc-1, -2, -5 and -6 is presented in Figure 4, 10, the Bkc-3 and -4 were deepened in the vertical plane (59–239° of N) of the Chamber axis.

The radial extensometric boreholes (Bkx-[1-6]) were penetrated in a vertical plane perpendicular to the Chamber axis at 20.55 m of the HGM Chamber. The azimuth, the coordinates of the start and end points, the position as compared to the tunnel axis, penetration date and diameter of the 6 boreholes are presented in Table 10, whereas their position in space and as related to the tunnel in the vertical plane (which is oriented 150–330° of N) perpendicular to the axis of the HGM Chamber is illustrated in Figure 6.

Boreholes Bkx-(1-5) was deepened with the same parameters 96 mm (HQ) diameter core drilling to 18.50 m and subsequent enlarging in two steps to 146 mm till 0.30 m. Simultaneously, in case of need (Bkx-4 and -5) the hole was reinforced by cementing. Borehole Bkx-6 was deepened to 20.0 m, it was enlarged to 110 mm till 0.15 m and the hole and its mouth were reinforced by cementing.

Technical downhole logging was performed by Karotázs in Boreholes Bkx-(1-3) and Bkx-5. Concerning the rest of the holes the coordinates of their bottom were calculated upon the bottom depth and the initial direction of drilling.

#### Radial EDZ Boreholes

Concerning the EDZ borehole group two sections of the radial EDZ boreholes were established at the 417.5 m of the Western Incline (Boreholes Bf-[11-18] in Section EDZ-1) and at the 717.6 m of the Eastern Incline (Boreholes Bf-[21-28] in Section EDZ-2). The objective of the radial EDZ boreholes was to learn the hydrodynamic and rock-mechanical properties of those rock bodies the state of which was affected around the tunnel (the investigation of

Table 11. Registry data of the radial EDZ-section boreholes

Section code	Location tunnel/m	Borehole code	Start coordinates of the first borehole			Direction of the holes*	Bottom m	Penetration date month/year
			Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)			
EDZ-1	NA/417.5	Bf-(11-18)	616,184.35	96,645.27	125.99	WNW down, horiz., up; vert. up; ESE up, horiz., down; vert. down	10.12-10.42	11/2005
EDZ-2	KA/717.5	Bf-(21-28)	616,236.15	96,339.58	94.70	W down, up; vert. up; E up, down; vert. down	9.41-10.54	08/2006

NA = Western Incline, KA = Eastern Incline; EOV = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System. \* = At right angle to the tunnel axis; vert. = vertically, horiz. = horizontally.

hydraulic pressure changes in the EDZ, as well as of the changes in the velocity of the propagation of acoustic, seismic and electro-magnetic waves simultaneously with advancing tunnel driving).

Two EDZ borehole sections were established (EDZ-1 and EDZ-2) with 8 cored boreholes in each section; both deepened in vertical planes with the bottom depth of approx. 10 m (Table 11). The holes were effected by Diamec 250-type hydraulically driven core rig. Both borehole sections were established following the preparation of the basis and the shot of the shot concrete layer.

In the Section EDZ-1 (Figure 3, 3) the first section of cored boreholes was affected with 59 mm diameter between 0.4 and 0.7 m, for the sealing of the holes was designed by cementing steel conductor pipes in them equipped with well cap until the renewed measurements.

In the following the holes were enlarged between 0.2 and 0.4 m—till the boundary of the shot concrete layer and the rock—to 112 mm so that the well cap does not extrude of the shot concrete layer. It was thus possible to seal the holes reliably off and to reopen them at any time.

The second section of the boreholes was effected with

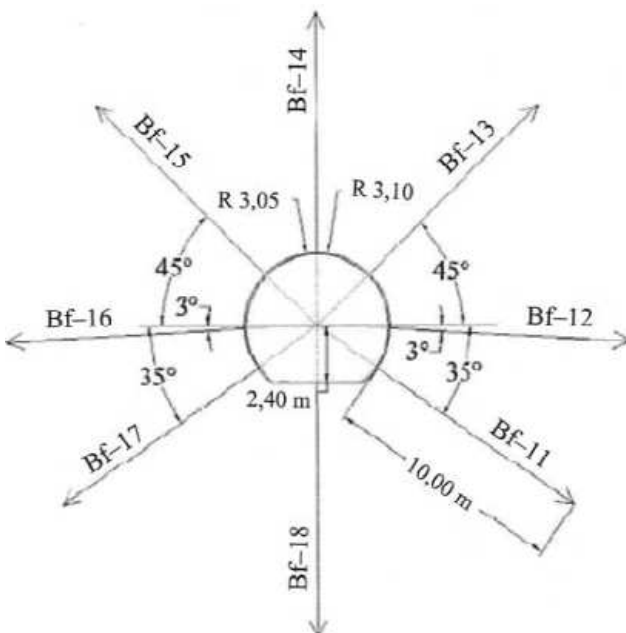


Figure 7. Position of the boreholes of the section EDZ-1 in vertical plane (LOVAS 2005)

7. ábra. Az EDZ-1 szelvény fúrásainak helyzete függőleges síkban (LOVAS 2005)

coring with 48 mm diameter to the bottom between 10.12 and 10.43 m.

In the Section EDZ-2 (Figure 3, 4) the boreholes Bf-(21-28) were produced with 46 mm diameter to the bottom between 9.41 and 10.54 m except for the uppermost 1.74 m section of the Bf-28 bottom borehole, which was penetrated with 75.7 mm diameter. Making use of the previous experiences it was equipped with conductor pipe. During a break in deepening Borehole Bf-22 the drill bit came off the bit bottom and it stayed on the hole bottom in a length of 0.25 m together with the interrupter and the core. As a result the drilling was stopped at 9.41 m.

Following the execution of the two-packer well tests and the downhole loggings the holes were sealed with mechanical packers and PUM foam insulation in both EDZ sections.

The arrangement of the boreholes is demonstrated on the example of the Section EDZ-1 in Figure 7.

### Small EDZ Boreholes

Small EDZ boreholes were drilled for the hydraulic investigation of the 1 m-wide environment of the tunnels. Tunnel tracts of average and moderate fracturing as well as crossed by clayey fracture zones were selected for the measurements.

Measurement tracts (sections) were assigned in 10, 15-20 m-long tunnel stretches altogether in the inclines and head tunnels.

Within the specific sections boreholes were arranged in pairs and triple groups; at approx. 1 metre spacing within the groups. In terms of the hole pairs the two hole mouths were next to each other, parallel with the tunnel axis. In the triple groups the well mouths formed an L shape one leg of the L—similarly to the hole pairs—was parallel with the tunnel axis, whereas the other one was directed downward towards the tunnel bottom (e.g. Boreholes Bz-[1021-1023], Figure 8).

The borehole groups were established in four distinct height levels in the tunnel on the lower part of the tunnel side, on its upper part, in the central line of the roof as well as around

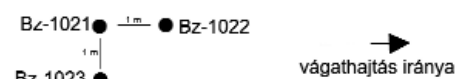


Figure 8. Conceptual arrangement of the small EDZ boreholes (Section Bz-10)

8. ábra. A kis EDZ-fúrások elvi elrendezése (Bz-10 szelvény)

the middle of the bottom. The holes in the lower and the upper parts of the tunnel side were deepened 0.2–1.4 m above the excavation bottom and 2.3–3.5 m above the tunnel bottom, respectively. The ten sections were marked Bz–(1–10). The borehole code Bz refers to the holes effected on the side and the roof, whereas the Bl marks those on the bottom. Packer tests in the holes were performed by Golder, whereas the results of the hydraulic investigation of the 1 m-wide environment of the tunnels was reported by MOLNÁR et al. (2009).

In order to examine the clayey fracture zones crossed in inclines boreholes were penetrated in 8 sections. Their arrangement was quite similar, the eight sections were marked Ba–(1–8) and the borehole code was Ba. The investigation method and system were equal with those applied in the Bz sections (SIDLÓ et al. 2009).

62+35 = 97 boreholes were effected in the 18 sections altogether. Below the shot concrete the holes were deepened to 1.15 m in the rock. They were executed with 96 mm diameter in the total length of 244.48 m (Figure 3, Figure 5 and Table 12).

### Geological-tectonic Logging of Cores

The geological-tectonic logging and scanning of cores were executed upon the method applied in the ground-based exploration (GYALOG, MAROS 2003). Geotechnical logging was performed in specific sections of the ground-based boreholes and in all underground ones (KOVÁCS 2004).

Geological-tectonic logging and scanning were carried out, on the one hand in the sections of ground-based deep boreholes penetrating the basement (Üh–39, Üh–[42–45]), on the other hand in the Bp–1 freshwater-head and the Bm–(3–4) monitoring boreholes pertaining to the family of hydrogeological tunnel boreholes. Geological-tectonic logging without scanning occurred in the boreholes as follows in Pilot Borehole BeK–1, in all pilot boreholes of the head tunnels (Kishurok and Nagyhurok; BeK–[15–17], BeN–[6–8], BeR–[2–9, 11–12]), in the rock-stress boreholes Bm–(1–2) and in the freshwater-head boreholes Bp–(2–4), Bp–4B, BeR–1 and BeR–10. Merely geological logging was prepared along the tracts of the ground-based boreholes penetrating the overlying beds, in Piezometric borehole

Table 12. Registry data of the small EDZ boreholes

Section code	Location tunnel/m	Borehole codes	Start coordinates of the first borehole			Bottom m	Penetration date month/year
			Y (EOV)	X (EOV)	Z (BS)		
Bz-1	NA/142-158	Bz-(111-112), (121-123), (131-132), (141-143); Bl-(11-12)	616,317.17	96,886.15	152.14	1.28-2.00	03/2008
Bz-2	NA/525-531	Bz-(211-212), (221-223), (231-232), (241-243); Bl-(21-22)	616,132.55	96,551.28	117.36	1.22-2.00	03/2008
Bz-3	4OK/10-22	Bz-(311-313), (321-323), (331-332); Bl-(31-32)	616,227.40	96,170.25	77.95	1.27-2.00	03/2008
Bz-4	NA/1391-1408	Bz-(411-413), (421-423), (431-432), (441-442), (451-452); Bl-(41-42)	615,991.69	95,813.85	34.64	1.25-2.00	03/2008
Bz-5	NA/1532-1550	Bz-(511-513), (521-523), (531-532), (541-542); Bl-(51-52)	615,974.80	95,686.18	23.39	1.22-2.10	04/2008
Bz-6	KAV/32-41	Bz-(611-612), (621-623), (631-633), (641-642); Bl-(61-62)	616,140.72	95,438.64	3.37	1.35-2.15	01/2009
Bz-7	NAV/21-38	Bz-(711-712), (721-723), (731-733), (741-742); Bl-(71-72)	616061.14	95,438.05	3.56	1.29-2.30	01-02/2009
Bz-8	NAV/227-237	Bz-(811-813), (821-822), (831-832), (841-842); Bl-(81-82)	616,093.06	95,238.20	6.59	1.30-2.06	04/2009
Bz-9	TSZV/20-34	Bz-(911-913), (921-923), (931-933), (941-942), (951-952), (961-962); Bl-(91-94)	616,040.68	95,445.39	5.41	1.35-2.40	07-08/2009
Bz-10	TOVD/56-76	Bz-(1011-1012), (1021-1023), (1031-1033), (1041-1042), (1051-1052), (1061-1063); Bl-(101-104)	615,931.60	95,225.48	8.15	1.33-2.33	02/2010
Ba-1	NA/302-307	Ba-(11-17)	616,240.14	96,745.84	138.19	1.55-1.99	04/2008
Ba-2	NA/551-573	Ba-(21-25)	616,125.33	96,525.91	115.21	1.54-1.72	04/2008
Ba-3	KA/499-517	Ba-(31-35)	616,159.12	96,520.90	115.44	1.60-1.85	04/2008
Ba-4	NA/732-738	Ba-(41-44)	616,169.44	96,369.40	99.35	1.34-1.48	04/2008
Ba-5	NA/1060-1073	Ba-(51-54)	616,163.55	96,095.17	64.99	1.35-1.44	04/2008
Ba-6	KA/1256-1268	Ba-(61-64)	616,063.10	95,880.71	42.22	1.30-1.69	04/2008
Ba-7	NA/1450	Ba-(71-73)	615,963.46	95,763.23	29.87	1.35-1.54	04/2008
Ba-8	KA/1394,5	Ba-(81-83)	615,996.57	95,760.66	28.79	1.42-1.50	04/2008

The direction of the holes is radial, perpendicular to the tunnel axis in each borehole. NA = Western Incline, KA = Eastern Incline, 4OK = Interconnecting Passageway 4 (from the east), KAV = Eastern Head Tunnel, NAV = Western Head Tunnel, TOVD = Disposal-interconnecting Tunnel (from the south); EOV = Uniform Nationwide Projection, BS = Baltic System.

(P[1–21]) and in Tunnel-effect Borehole Bv–1. The main part of the work was done by MÁFI, only Boreholes BeR–1 and Bp–4 were logged by Mecsekérc.

In terms of the underground cored boreholes detailed geological logging was not effected in the pilot ones (except for the BeK–1), in the radial EDZ boreholes and in the extensometric ones apart from sketchy geological sequence composed by Mecsekérc as part of the geotechnical logging. The ground-based (groundwater-observation) and the underground (sounding and soil-moisture-collecting) non-cored boreholes were not logged either.

The cores of the ground-based deep boreholes and the tunnel boreholes were logged in the Bátaapáti core store (in the Geological-tectonic Field Laboratory), whereas the partly cored and non-cored boreholes were logged on the spot (upon cylindrical core, material of spiral bit and drilling chips).

Concerning the ground-based boreholes merely geological logging was effected in the overlying beds and the uppermost, strongly weathered stretch of the granite without tectonic logging and core scanning. Merely one part of the tunnel boreholes was subjected to scanning. Provided that scanning was undertaken in the hard granitoid body the depth of the sequence boundaries was calculated following the collation of the results of core scanning and borehole televiewer inspection.

In the frame of **geological logging** the lithological qualification, mineralogical composition, texture, structure and alterations of the cores were investigated, the related data were put in data sheets of predefined structure or Excel tables.

During the logging 108.98 m of overlying beds and 1190.14 m of granite rocks (1371.12 m in all) were described in the 5 ground-based deep boreholes. The piezometric boreholes were logged in their total, 237.70 m length. Apart from some Cretaceous alkali volcanic dykes the lithological types of the Mórógy Granite were described.

In the frame of **tectonic logging** the complete description, measurement and classification of tectonic phenomena and fissure fillings, the examination of the core fracturing, the measurement of the features (e.g. striae) detectable inside the cores as well as the typification of fractures were accomplished along the full length of the granitoid core stretch (irrespective of its state of fracturing).

Separate tectonic descriptions were devoted to the basement stretch of 5 ground-based deep boreholes as well as to the underground Pilot Borehole BeK–1, Freshwater-head Borehole Bp–1 and Rock-stress and Monitoring Boreholes Bm–(1–4). Concerning the boreholes of head tunnels tectonic logging was part of the geological one.

In the field laboratory data were directly put in the database of the CoreDump software. On the one hand they complemented the data content of the plane-like objects interpreted on the scanned images (e.g. the specific data of striae, intensity of foliation, surface properties and thickness of fillings, matter of the coating-like fillings, drilling mud

fractures), on the other hand they served for the structural-geological description of the non-scannable tracts. The latter are non-oriented data. The scanned and the non-scanned data sets can integrally be examined and queried.

The description proceeded by phases of pulling out. It included all plane-like features (fracture, rock boundary, lineation, foliation, infilling, fracture geometry, plane-like oriented feldspars, milonite, cataclasite, reddening of feldspars, fracture of the core disc, etc.), which were called objects like in previous loggings (e.g. MAROS et al. 2003e Chapter 3.1). The objects were assigned to more comprehensive groups which served for the refinement of the description.

Individual geological or geological-tectonic reports of identical structure were prepared of each ground-based and underground boreholes or borehole groups (references in BALLA et al. 2008). In these reports beside the detailed geological description of the boreholes a number of other items was attached including the detailed geological characterisation of the individual sequences, core photos as the photoset of core boxes, the 1100-scale detailed sketch of the borehole geological log, the summary of the material tests as well as the summarising tables of their results. The piezometric boreholes of simplified geological logging were also integrated in one report. Breaking with tradition, synthetic evaluating reports were compiled from the start of phase I of the NRHT (Kishurok) onward. Their main chapters include the results of the borehole technical documentation, the hydrogeological investigations as well as the geological-tectonic, geotechnical and geophysical interpretation (see the references of drilling reports in the Introduction).

**Core scanning** (executed by the ImaGeo Core Scanner—MAROS, PÁSZTOR 2001, MAROS 2004) furnishes information for the tectonic and lithological interpretation upon the core surface image. For this purpose the joinable core pieces were assembled and their surface was subjected to high-resolution optical digitisation. The available optical information was converted to geological baseline data through digitally fixing and processing the core surface image. Additionally, the spatial distribution of the objects was interpreted as rotated back to their original position on the basis of the borehole televiewer image. The length of the scanned cores in the ground-based (Üh–39, –[42–45]) and the underground boreholes (Bm–[3–4], Bkh–[1–2]) amounts to 1068.62 m (from 1162.79 m core—91%) and to 226.03 m (from 242.88 m core—93%), respectively.

The activities effected in the frame of the **drill core analytical tests** involved primarily the preparation of lithological and fissure-filling thin sections as well as X-ray, thermic, chemical, and microsound analyses.

## Summary

Concerning the boreholes of the underground exploration the ground-based and hydrogeological underground boreholes contributed to learn the lithological,

tectonic as well as hydrogeological features of the granitoid and hydrogeological underground boreholes contributed to learn the lithological, tectonic as well as hydrogeological features of the granitoid body with sophisticated flow pattern. The pilot tunnel boreholes supported the direct

planning of tunnel driving. Additionally, they revealed the aquiferous fracture zones under less disturbed conditions. The various types of rock-mechanical boreholes and borehole sections contributed to learning the geotechnical setting of the tunnel environment.

## References – Irodalom

- ANDRÁS E., DÁLYAI V., VÁGÓ Z., NAGY V. (MECSEKÉRC ZRT.), SIDLÓ T. G., DARVAS K., KORPAI F., MOLNÁR P. (Golder Kft.), GULÁCSI Z., GYALOG L., KIRÁLY E., RÁLISCH E., FÜRI J. (MÁFI), KOVÁCS L., RÁTKAI O. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009a: A BeR-2 jelű vágatelfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Pilot Tunnel Borehole BeR-2). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-049/09.
- ANDRÁS E., SZEBÉNYI G., TÖRÖK P., VÁGÓ Z., VERES J. (Mecsekérc Zrt.), ANDRÁSSY M., MOLNÁR P. (Golder Kft.), ZSÁMBOK I., GYALOG L., FÜRI J., KIRÁLY E., RÁLISCH E. (MÁFI), KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009b: A BeK-16 fúrás dokumentációja (in Hungarian, translated title: Log of Borehole BeK-16). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-026/09.
- ANDRÁS E., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V. (Mecsekérc Zrt.), SIDLÓ T., ANDRÁSSY M., DARVAS K., KORPAI F., MOLNÁR P. (Golder Kft.), KOROKNAI B., GYALOG L., KIRÁLY E., RÁLISCH E., FÜRI J. (MÁFI), KOVÁCS L., RÁTKAY O. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009c: A BeK-17 fúrás dokumentációja (in Hungarian, translated title: Log of Borehole BeK-17). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-043/09.
- ANDRÁS E., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V., VERES J. (Mecsekérc Zrt.), ANDRÁSSY M., MOLNÁR P., SIDLÓ T. G. (Golder Kft.), KIRÁLY E., GYALOG L. (MÁFI), RÁTKAI O., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009d: A BeR-4 jelű vágatelfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Pilot Tunnel Borehole BeR-4). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-085/09.
- ANDRÁS E., VÁGÓ Z., CSAPÓ Á., NAGY V., VERES J. (Mecsekérc Zrt.); KORPAI F., ANDRÁSSY M., DARVAS K., SIDLÓ T. G. (Golder Zrt.); KIRÁLY E., GYALOG L. (MÁFI); RÁTKAI O., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.); SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2010: A Bp-4B jelű potenciálfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Freshwater-head Borehole Bp-4B). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-007/10M01.
- BALLA Z., ALBERT G., CHIKÁN G., DUDKO A., FODOR L., FORIÁN-SZABÓ M., FÖLDVÁRI M., GYALOG L., HAVAS G., HORVÁTH I., JÁMBOR Á., KAISER M., KOLOSZÁR L., KOROKNAI B., KOVÁCS-PÁLFFY P., MAROS GY., MARS I., PALOTÁS K., PEREGI ZS., RÁLISCH L.-NÉ, ROTÁRNÉ SZALKAI Á., SZŐCS T., TÓTH GY., TURCZI G. (MÁFI), PRÓNAY ZS., VÉRTESY L., ZILAHÍ-SEBESS L. (ELGI), GALSA A., SZONGOTH G. (Geo-Log), MEZŐ GY., MOLNÁR P. (Golder), SZÉKELY F. (Hygecon), HÁMOS G., SZÜCS I., TURGER Z. (Mecsekérc), BALOGH J., JAKAB G., SZALAI Z. (MTA FKI) 2003: Az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló program. A felszíni földtani kutatás zárójelentése, Bataapáti (Üveghuta), 2002–2003 (in Hungarian, translated title: Program for the final disposal of low- and intermediate-level radioactive wastes of nuclear facilities. Final report of the ground-based geological exploration, Bataapáti [Üveghuta], 2002–2003). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, Budapest, T. 20 914; Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1102; Bataatom Kft., Budapest, BA-03–156.
- BALLA Z., CSÁSZÁR G., FÖLDVÁRI M., GULÁCSI Z., GYALOG L., HORVÁTH I., KAISER M., KIRÁLY E., KOLOSZÁR L., KOROKNAI B., MAGYARI Á., MAROS GY., MARS I., MUSITZ B., RÁLISCH E., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., SZŐCS T., TÓTH GY. (MÁFI); BERTA J., CSAPÓ Á., CSURGÓ G., GORIÁNÁZ Z., HÁMOS G., HOGYOR Z., JAKAB A., MOLNOS I., MOSKÓ K., ORSZÁG J., SIMONCSICS G., SZAMOS I., SZEBÉNYI G., SZÜCS I., TURGER Z., VÁRHEGYI A. (Mecsekérc); BENEDEK K., MOLNÁR P., SZEGŐ I., TUNGLI GY. (Golder); MADARASI A., MÁRTONNÉ SZALAY E., PRÓNAY ZS., TILDY P. (ELGI); SZONGOTH G. (Geo-Log); GACSÁLYI M. (MBFH); KOVÁCS L. (Kútfej Bt.); MÓNUS P. (GeoRisk); VÁSÁRHELYI B. (Vásárhelyi és Tsa Bt.) 2008: Bataapáti hulladéktároló felszín alatti létesítményeinek előkészítési munkái 2004–2007. A felszín alatti földtani kutatás zárójelentése (in Hungarian, translated title: Preparatory works of the underground facilities of the Bataapáti waste repository 2004–2007. Final report of the underground geological exploration). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1419; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-082/08.
- BERTA J. 2010: Tunnel interior design and construction (Térképészeti munkák Bataapátiban). — A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009 (this volume [jelen kötet]).
- DÁLYAY V. 2008: A BeR-1 jelű kutatófúrás földtani és tektonikai leírása (in Hungarian, translated title: Geological and tectonic log of Exploratory Borehole BeR-1). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-133/08.
- DÁLYAY V., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., ANDRÁS E., NAGY V., VERES J. (Mecsekérc Zrt.), SIDLÓ T. G., MOLNÁR P. (Golder Kft.), GULÁCSI Z., GYALOG L. (MÁFI), KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009a: A BeR-5 jelű vágatelfúrás egységes értékelő jelentése

- (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Pilot Tunnel Borehole BeR-5). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-088/09.
- DÁLYAY V., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V., ANDRÁS E. (Mecsekérc Zrt.), SIDLÓ T. G., DARVAS K., KORPAI F., MOLNÁR P. (Golder Kft.), ZSÁMBOK I., KIRÁLY E., RÁLISCH E., GYALOG L., FÜRI J. (MÁFI), RÁTKAY O., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009b: A BeN-8 fúrás dokumentációja (in Hungarian, translated title: Log of Borehole BeN-8). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-044/09.
- DÁLYAY V., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V., VERES J., ANDRÁS E. (Mecsekérc Zrt.), ANDRÁSSY M., SIDLÓ T. G., DARVAS K., KORPAI F. (Golder Kft.), GULÁCSI Z., GYALOG L. (MÁFI), DEÁK F., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2010a: A BeR-10 jelű magfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of cored Borehole BeR-10). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-008/10.
- DÁLYAY V., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V., VERES J., CSAPÓ Á. (Mecsekérc Zrt.), ANDRÁSSY M., DARVAS K., KORPAI F., SIDLÓ T. G. (Golder Zrt.); ZSÁMBOK I., GYALOG L. (MÁFI); MÉSZÁROS E., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2010b: A BeR-9 és BeR-9A jelű vágatelfúrások egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Pilot Tunnel Boreholes BeR-9 and BeR-9A). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-007/10M01.
- DÁLYAY V., VÁGÓ Z., NAGY V., VERES J., ANDRÁS E. (Mecsekérc Zrt.), ANDRÁSSY M., SIDLÓ T. G., DARVAS K., MOLNÁR P. (Golder Kft.), ZSÁMBOK I., GYALOG L. (MÁFI), RÁTKAY O., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009c: A BeR-7 jelű vágatelfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Pilot Tunnel Borehole BeR-7). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-150/09M01.
- DEÁK F., KOVÁCS L. 2009: Az Ext-6 és Ext-7 extenzométeres elrendezések értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Evaluation report of the Ext-6 and Ext-7 extensometric arrangements). — *Manuscript (kézirat)*, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-056/09.
- GYALOG L., ALBERT G. 2008: A Bábaapáti BeN-6 előfúrás földtani és tektonikai leírása (in Hungarian, translated title: Geological and tectonic log of Pilot Borehole Bábaapáti BeN-6). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1438; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-167/08.
- GYALOG L., GULÁCSI Z. 2008: A Bábaapáti BeK-15 előfúrás földtani és tektonikai leírása (in Hungarian, translated title: Geological and tectonic log of Pilot Borehole Bábaapáti BeK-15). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1437; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-125/08.
- GYALOG L., HÁMOS G. 2004: Fúrások és vizsgálatuk (in Hungarian, translated title: Boreholes and their investigation). — In: SZÜCS et al. 2004, 6. fejezet (Chapter 6), pp. 94–202.
- GYALOG L., MAROS GY. 2003: Magdokumentálás. — In: BALLA et al. (2003): pp. 35–44.
- GYALOG L., PERLAKY F. 1998: Kis és közepes radioaktivitású hulladékok végső elhelyezésére szolgáló potenciális telephelyek földtani kutatása. Az Üvegghuta-5 (Üh-5) jelű fúrás műszaki ellenőrzésének alapkutatásának dokumentációja (Golder Kft.) (in Hungarian, translated title: Geological exploration of potential sites for the final disposal of low- and intermediate-level radioactive wastes. The baseline documentation of the technical supervision of Borehole Üvegghuta-5 [Üh-5]). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 473.
- GYALOG L., GULÁCSI Z., KOROKNAI B., MAROS GY. 2008: A Bábaapáti Bkh-1 és Bkh-2 hidrogeológiai fúrások földtani és tektonikai leírása (in Hungarian, translated title: Geological and tectonic description of Hydrogeological Boreholes Bábaapáti Bkh-1 and Bkh-2). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1411; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-055/08.
- GYALOG L., FÜRI J., BORSODY J., MAROS GY., PÁSZTOR, SZ. 2010: Geological mapping of the bábaapáti tunnels (A bábaapáti vágatok földtani dokumentálása). — A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009 (this volume [jelen kötet]).
- KOVÁCS L. 2004: Geotechnikai dokumentálás (in Hungarian, translated title: Geotechnical logging). — In: SZÜCS et al. 2004, 6.3.4.3. fejezet (Chapter 6.3.4.3.), pp. 183–185.
- LOVAS A. 2005: EDZ fúrások mélyfúrás-geofizikai vizsgálata (in Hungarian, translated title: Well-logging of EDZ boreholes). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs, BA-EDZ-1/1/05.
- MAROS GY. 2004: Fúrómagok szkennelése (in Hungarian, translated title: Scanning of drill cores). — In: SZÜCS et al. (2004), 6.3.4.2. fejezet, pp. 181–183.
- MAROS GY., PÁSZTOR, SZ. 2001: New and oriented core evaluation method: ImaGeo. — *European Geologist* 12, pp. 40–43.
- MAROS GY., BALLANÉ DUDKO A., FORIÁN-SZABÓ M., KOROKNAI B., PALOTÁS K., SZABADOSNÉ SALLAY E. 2003: Az Üvegghuta Üh-27 fúrás tektonikai dokumentációja (in Hungarian, translated title: Tectonic log of Borehole Üvegghuta Üh-27). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 966.
- MOLNÁR P., ANDRÁSSY M., KORPAI F., SIDLÓ T. 2009: A vágatok 1 m-es környezetének hidraulikai vizsgálata (in Hungarian, translated title: Hydraulic investigation of the tunnel 1 m environment). — *Manuscript (kézirat)*, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-163/08.
- SIDLÓ T., ANDRÁSSY M., KORPAI F., MOLNÁR P. 2009: A bábaapáti megközelítő vágatok törészónáinak hidraulikai vizsgálata (in Hungarian, translated title: Hydraulic investigation of the fracture zones of the Bábaapáti approach tunnels). — *Manuscript (kézirat)*, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-162/08.
- SZABÓ R., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V., VERES J., ANDRÁS E., CSAPÓ Á. (Mecsekérc Zrt.); SIDLÓ T. G., ANDRÁSSY M., DARVAS K. (Golder Zrt.), KOROKNAI B., GYALOG L. (MÁFI), RÁTKAY O., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2010: A BeR-12 jelű egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Borehole BeR-12). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-010/10M01.
- SZEBÉNYI G., TÖRÖK P., DÁLYAY V., VÁGÓ Z., SZABÓ R., CSAPÓ Á., VERES J., NAGY V. (Mecsekérc Zrt.); KIRÁLY E., GYALOG L. (MÁFI); RÁTKAY O., JAKAB A. (Kőmérő Kft.); KORPAI F.,

- ANDRÁSSY M., DARVAS K., SIDLÓ T. G. (Golder Zrt.); SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2010: A BeR-11 és -11A jelű vágatelőfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Pilot Tunnel Boreholes BeR-11 and 11A). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-009/10M01.
- SZŰCS I., HÁMOS G., BERTA J., BENKOVICS I., BERTA ZS., CSICSÁK J., FÖLDESI J., FÖLDING G., HIRTH J., KULCSÁR L., LENDVAINÉ K. ZS., MAJOROS GY., MARKOVICS J., MÁTHÉ Z., MENYHEI L., SZIKSZAI ZS., TAR M., TÓTH P., TURGER Z., ULRICH K., VÁGÓ Z., VÁRHEGYI A. (Mecsekérc); BÉRCI K., GÁTINÉ MAGYAR R., TAKÁCS T. (Erőterv); BENEDEK K., DANKÓ GY., MEZŐ GY., MOLNÁR P., SZEGŐ I. (Golder); BALLA Z., GYALOG L., BUDAI T., HORVÁTH I., MAROS GY., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., TÓTH GY., TURCZI G. (MÁFI); CZOMA CS., NÉMETH GY. (BIT); TÖRÖS E., VÉRTESY L. (ELGI); SZONGOTH G. (Geo-Log); GACSÁLYI M. (Geopar); KOVÁCS L. (Kútfej); SOMOSVÁRI ZS. (Miskolci Egyetem); GONDÁR K., GONDÁRNÉ SÓREGI K. (Smaragd) 2004: Az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló program. A felszín alatti földtani kutatás terve, Bataapáti (Üveghuta), 2004–2007 [in Hungarian, translated title: Program for the final disposal of low- and intermediate-level radioactive wastes of nuclear facilities. Design of the underground geological exploration, Bataapáti (Üveghuta), 2004–2007]. — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1114; Bataatom Kft., Budapest, BA-03-196.
- TÖRÖK P., SZEBÉNYI G., ANDRÁS E., NAGY V., VÁGÓ Z., VERES J. (Mecsekérc Zrt.), GULÁCSI Z., GYALOG L. (MÁFI), KOVÁCS L., JAKAB A., RÁTKAI O. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2008: A Bp-2 fúrás dokumentációja I–II. kötet (in Hungarian, translated title: Log of Borehole Bp-2; Volumes I and II). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1445; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-166/08.
- TÖRÖK P., SZEBÉNYI G., ANDRÁS E., VÁGÓ Z., VERES J. (MECSEKÉRC Zrt.), MOLNÁR P., KORPAI F., SIDLÓ T. (Golder Kft.), KIRÁLY E., GYALOG L., FÜRI J., RÁLISCH E. (MÁFI), KOVÁCS L., RÁTKAY O. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009a: A Bp-3 fúrás dokumentációja (in Hungarian, translated title: Log of Borehole Bp-3). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-024/09.
- TÖRÖK P., SZEBÉNYI G., ANDRÁS E., VÁGÓ Z., VERES J. (Mecsekérc Zrt.), SIDLÓ T. G., ANDRÁSSY M., MOLNÁR P. (Golder Kft.), KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), KOROKNAI B., GYALOG L., FÜRI J., KIRÁLY E., RÁLISCH E. (MÁFI), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009b: A BeN-7 fúrás dokumentációja (in Hungarian, translated title: Log of Borehole BeN-7). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks; RHK-K-009/09.
- TÖRÖK P., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., NAGY V. (Mecsekérc Zrt.), MOLNÁR P. (Golder Kft.), GULÁCSI Z., GYALOG L., FÜRI J. (MÁFI), KOVÁCS L., RÁTKAY O. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009c: A BeR-3 fúrás dokumentációja (in Hungarian, translated title: Log of Borehole BeR-3). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-045/09.
- TÖRÖK P., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z., VERES J. (Mecsekérc Zrt.), SIDLÓ T. G., ANDRÁSSY M., DARVAS K., KORPAI F. (Golder Kft.), KOROKNAI B., GYALOG L. (MÁFI), RÁTKAI O., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2009d: A BeR-6 jelű vágatelőfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Pilot Tunnel Borehole BeR-6). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-147/09.
- TÖRÖK P., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z. (Mecsekérc Zrt.), ANDRÁSSY M., DARVAS K., MOLNÁR P., SIDLÓ T. G. (Golder Zrt.); DEÁK F., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.) 2010a: A Bp-4 jelű magfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of cored Borehole Bp-4). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-172/09M01.
- TÖRÖK P., SZEBÉNYI G., VÁGÓ Z. (Mecsekérc Zrt.), SIDLÓ T. G., ANDRÁSSY M., DARVAS K., KORPAI F. (Golder Kft.), ZSÁMBOK I., GYALOG L. (MÁFI), MÉSZÁROS E., KOVÁCS L. (Kőmérő Kft.), SZONGOTH G., ZILAHÍ-SEBESS L., HEGEDŰS S. (Geo-Log Kft.) 2010b: A BeR-8 jelű vágatelőfúrás egységes értékelő jelentése (in Hungarian, translated title: Synthetic evaluation report of Pilot Tunnel Borehole BeR-8). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK-K-007/10.



## Tunnel Interior Design and Construction

JÓZSEF BERTA

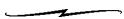
Mecsekérc Close Company, H-7633 Pécs, Esztergár Lajos u. 19.



**Key words:** tunnel driving, injecting, excavation, tunnel supporting

### **Abstract**

This paper deals with the subsurface tunnel construction activities for the National Repository of Radioactive Waste to be established at Bábaapáti (Hungary) as they were proceeding during period of the underground exploration works and of the Repository investment's preparatory works. It shall describe the tunnels already completed, the technological processes used, and details and data of work performance.



### **Introduction**

The handling and disposal of nuclear power station radioactive waste is seen in Hungary as a prominent task. The preparatory work aimed at the final disposal of radioactive waste has been carried forward since 1993 within the framework of a "National Programme" coordinated first by the Paks Nuclear Power Plant Plc., then by Public Agency for Radioactive Waste Management (Puram). For the final disposal of low- and intermediate-level nuclear-power-plant radioactive waste a safe underground facility was to be constructed by way of mining/tunneling technology, conceived and designed on the basis of international professional recommendations and best practice.

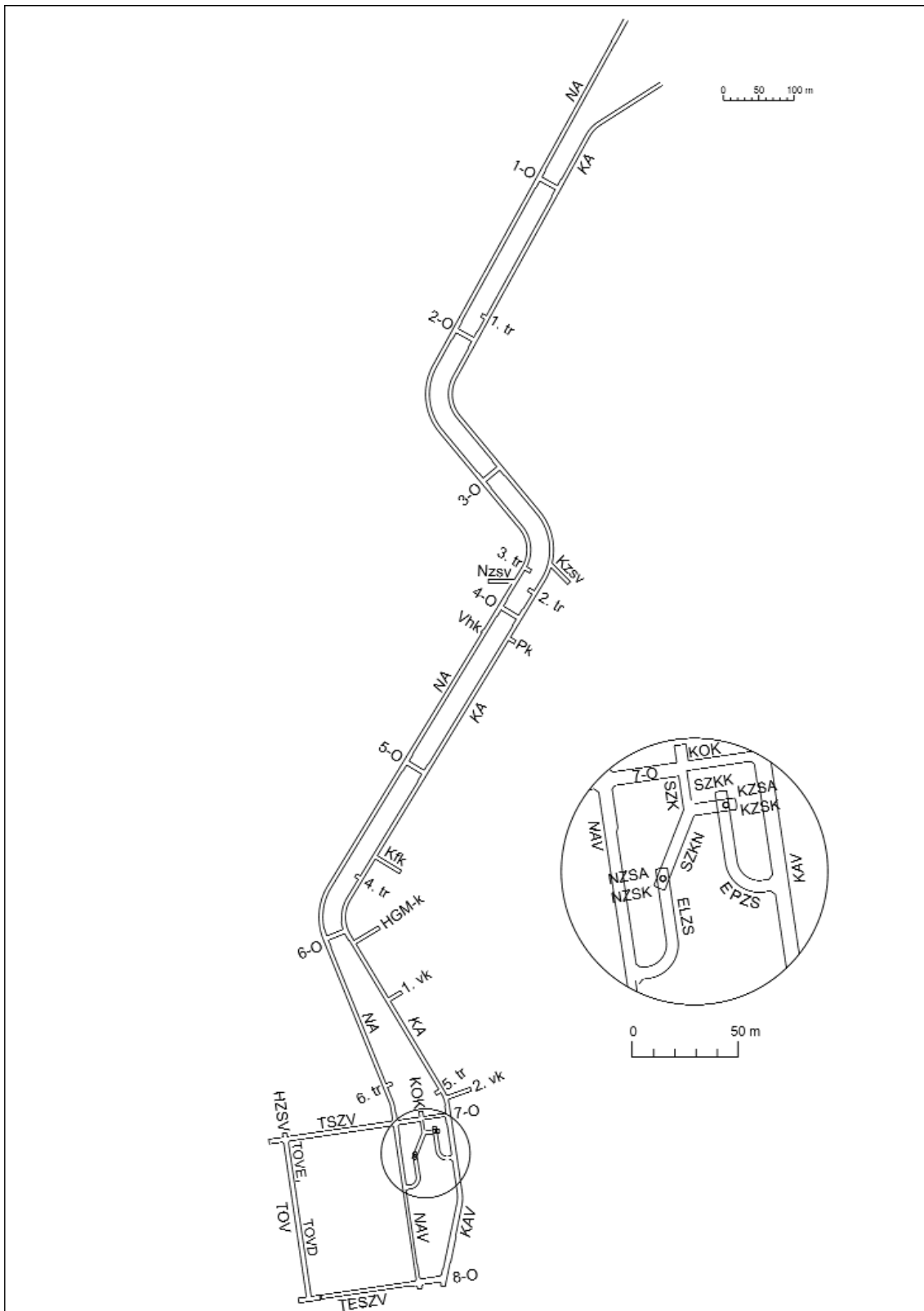
Subsurface works commenced in February 2005 with underground exploration; this practically meant the construction of the Eastern and of the Western Inclines, of the interconnecting passageways Nos. 1 through 6, of six transformer bays, of six exploratory chambers, and of two sump drifts. With such readied excavations space was provided for underground exploration and surveying. In addition, these excavations had to be shaped and equipped so as to enable also the transportation of waste material during

the operation of the underground repository. This stage of works ended in May 2008.

For the continuation of works the technical plans and documentation for the underground facilities of the National Repository of Radioactive Waste at Bábaapáti (NRHT) were completed by October 2007 and approved by the National Public Health Service Authority (=ÁNTSZ) with its Plant Erection Permit No. 230-46/2008 for the Repository of Radioactive Waste dated on May 14, 2008. Using the plans and execution drawings prepared on this basis the excavation was proceeded by driving the head and disposal tunnels and the drifts for the underground drainage complex; this stage finished in April 2010.

The system and arrangement of tunnels and cavities so completed shall serve the construction of disposal chambers that shall have access from the Disposal-interconnecting Tunnel of the Repository, and shall assist at operations related to disposing the waste material and to sealing the chambers (provision of barriers) as well as in constructing additional chambers.

The system and arrangement of tunnels, passageways, and chamber service routes is displayed in Figure 1. The summarised list of completed tunnels and cavities is shown in Table 1.



**Figure 1.** System and arrangement of tunnels, passageways, and chamber service routes (GYALOG et al. 2010)

For captions, see Table 1

**1. ábra.** A vágatrendszer térképe (GYALOG et al. 2010)

Jelmagyarázat az 1. táblázatban

Table 1. Summarised list of completed tunnels and cavities

Denomination of tunneling jobs	Symbol of drift	Length of drift (m)
<b>Drifts completed during underground exploration</b>		<b>3997.3</b>
Eastern Incline	KA	1723.5
Western Incline	NA	1772.5
Interconnecting Passageways (1 through 6)	1-O, 2-O, 3-O, 4-O, 5-O, 6-O	147.8
Exploration Drifts (6)	Pk, KIk, 1.vk, 2.vk, HGM-k, Vhk	137.7
Transformer Bays (1 through 6)	1.tr, 2.tr, 3.tr, 4.tr, 5.tr, 6.tr	16285
Drainage Sump Drifts (1 and 2)	Kzsv, Nzsv	71.0
<b>Drifts completed during the NRIII Project</b>		<b>1465.77</b>
Eastern Head Tunnel	KAV	260.5
Western Head Tunnel	NAV	252.4
Interconnecting Passageways (7 and 8)	7-O, 8-O	113.8
Compressor Chamber	KOK	11.7
Access Tunnel for Disposal Chamber Construction	TFSZV	172.1
Disposal Chamber Service Tunnel	TSZV	180.2
Disposal-interconnecting Tunnel	TOV	228.5
<i>Drifts for the water drainage complex</i>		<i>246.57</i>
Emergency Sump Drift	HZSV	7.0
Supervised Sump Drift	ELZS	63.4
Construction Drift for the Sump	EPZS	63.5
Pump Bays	SZK, SZKK, SZKN	84.9
Eastern Sump Well and Eastern Sump Shaft	KZSK, KZSA	13.9
Western Sump Well and Western Sump Shaft	NZSK, NZSA	13.87
<b>Total length of tunneling and excavations</b>		<b>5363.1</b>

### Excavations and Shaping the Interior of Tunnels and Other Cavities

The tunnels and other drifts completed in the course of the preparation works for the geological exploration and project organisation/realisation related to the low- and intermediate-level radioactive waste repository in Bataapáti had and serve a dual purpose: they provide space for the underground geological, hydrogeological, geophysical and geotechnical tests and investigations, and assist in the construction, operation and sealing works to be performed in the repository.

#### *Underground Exploration Objects/Works*

Underground exploration has been executed by way of driving in parallel two inclines and constructing other cavities by starting out from these access tunnels. Unimpaired draft ventilation for underground spaces and the independently available two exits as well as the emergency exit system have been provided by constructing a total of 7 passageways interconnecting the access tunnels and arranged along them at 250 m intervals

At the outset point center axis distance between the inclines is 99.6 m. Upon reaching 130 m in the Eastern Incline this distance is reduced to 32.2 m and remains at this value till 1430 m in the East tunnel. From this point on the distance between the inclines is increased to 76 m to match the arrangement of main tunnels serving the planned nuclear

waste repository. The incursion points of the inclines lie higher than the level of the technological yard on the open surface. Their initial sections are ascending to prevent the entry of precipitation water into the drift system even if sudden heavy storms result in unusual amounts of rainwater on the open surface area. These sections are followed by a short transitory section and continue at a constant sole slope of  $-9.2\%$  to permit the climbing of rubber tyre equipment used here. Said slope is reduced to zero in the 10 m vicinity of interconnecting passageway forkings to permit safe vehicle maneuvering. The interconnecting passageways have a slope of  $2\%$  towards the Western Access Tunnel. After the completion of tunnel supports the free cross-section generally shall have  $21 \text{ m}^2$ , but in the interconnecting passageways and in their forking areas the free cross section shall measure  $25 \text{ m}^2$ .

In planning the routes of tunnels they were wanted to run either close to orthogonal or close to parallel in relation to the locally typical directions of cracks and faults determined in the course of ground-based exploration. As there was no suitable geotechnical information available for planning the tunnel routes a turn was made for guidance to the “design as you go” principle, the internationally accepted recommendation concerning the route design of inclines (WATRP 2000). Later, after assessing the results gained from prospecting drilling during tunnel driving and from drift maps as well as after analysing the traversed systems of cracks and faults and the outcome of ground-based exploration activities the routes of the inclines were changed on two occasions.

### *Subsurface Works Performed as Part of the Repository Construction Project*

Starting from the end point of the inclines, the driving of tunnels and other excavation works already formed parts of the repository construction project and were conducted in accordance with the Plant Erection Permit No. 230-46/2008 for the Repository of Radioactive Waste and the plans and documentation attached to said permit. This stage covers the drifts for the so-called “Small Loop” and “Large Loop” as well as for the underground water drainage complex, but also for the disposal chambers the execution drawings of which are presently in preparation.

The drifts to be completed may be subdivided according to their final functions. To one group belong cavities which—after the finalisation of shaping and equipping, followed by their approval and allotment to the supervised zone—shall provide space only for activities connected to the disposal of waste material. One such object is the Disposal Chamber Service Tunnel, others are the Tunnel for Interconnecting the Groups of Disposal Chambers (in parts), the Emergency Sump Drift, the Supervised Sump Drift, the Pump Bay West, the Western Head Tunnel (in parts) and Interconnecting Passageway 7, and obviously the disposal chambers. The other drifts are for the purpose of assisting in the construction of additional disposal chambers when the underground disposal of waste material is already in progress. The Eastern Head Tunnel, the Interconnecting Passageway 8, the Construction Sump Drift, the Pump Bay East, and—in parts—the Tunnel for Interconnecting the Groups of Disposal Chambers and the Western Head Tunnel belong to the group of such other tunneling operations.

For the drifts the sloping parameters and the dimensions of cross-sections have been determined to suit their functions as parts of the repository. Drifts that shall be used for transporting waste material packages shall have a free cross-section of 33 m<sup>2</sup>. This size matches the movement parameters of the telescoping-beam forklift truck used—according to the original material handling concept—for hoisting the waste material package and to move it from Interconnecting Passageway 7 to the disposal chambers. Drifts serving solely for the construction of repository space shall have cross-sections of 21 m<sup>2</sup> and 25 m<sup>2</sup>, as before.

#### *Technological Work Processes*

For tunneling and the shaping of cavities several basic and auxiliary technological processes have been used. These were supplemented and assisted by the processes of creating and operating the infrastructure.

##### Basic technological processes:

- breaking,
- loading and hauling of rubble,
- tunnel supporting.

##### Auxiliary technological processes:

- pre-injecting,

- drainage,
- ventilation.

##### Infrastructural processes:

- electric power supply,
- water supply,
- compressed air supply,
- telecommunications and information technology.

In the following sections the basic and the auxiliary processes will be described.

#### **Breaking**

For driving the tunnels the technology of rock breaking was selected mainly on the basis of rock conditions. For tunneling conducted so far three types of rock breaking/removing techniques were used: excavation by shovel loader, blasting, and the combination of these two.

The initial lengths of both drifts—up to 75.0 m in the Eastern Incline, and up to 95.0 m in the Western Incline—have run in more or less cracked and weathered granite. Here the rock mass by shovel loaders could be removed, using 1.0 m deep cuts. The rock wall was stable and could be stripped relatively with ease.

In the Eastern Incline, up to 112.7 m, and in the Western Incline, up to 123.8 m, a selective breaking practice (excavation by shovel loader and blasting) has been used. Starting out from these points, then blasting for most cuts has been used. Both access tunnels traversed tectonically disturbed zones that necessitated the use of selective rock breaking. Similar conditions prevailed while driving certain shorter lengths in the Eastern and Western Head Tunnels. Over four drift sections counter-arched tunnel supporting has been used, these were sites where the laying of a 25 cm-thick concrete slab became necessary to consolidate the floor. These were the only exceptions, otherwise—as provided by the general technological specification—reinforcement to drift floors was not applied.

A Liebherr 900 tunnel-type shovel loader was available for breaking by shovel action. This shovel loader played an important role in rock-blasting operations: it was used for “knocking” off loose pieces of rock after blasting, and, prior to injecting the concrete, for removing rock debris from the corners formed by the floor and the side walls.

For tunnel driving by blasting the double-boom Atlas Copco L2C rocket boomer was used; this was a self-propelled horizontal drilling rig with electro-hydraulically driven hammers, for drilling the blasting holes. For best accuracy of drilling the rig was equipped with laser control and a TCAD system computer. As reserve equipment a smaller single boom rig with a hydraulic work platform was available. To minimise rock mass damage in the vicinity of the contour of the drift blasting methods well-tolerated by the rock mass has been used; this practice included the following technological elements:

- For the drilling of blastholes required to advance tunneling modern, high-performance electro-hydraulically operated self-propelled rigs were used; this ensured the

required accurate positioning of blastholes and their parallelism.

—Blastholes lying close to the contour received small caliber cartridges (30 mm cartridges placed into 45 mm wide holes).

—Blastholes lying close to the contour received shorter loads of explosive than those made to widen the arch of the drift.

—The curved edge line of blastholes arranged along the contour blastholes must not be farther out from the contour line than 50 cm;

—One of the prerequisites of non-damaging rock-mass blasting is to keep the ratio of blasthole diameter ( $d_{ly}$ ) to the diameter of the explosive charge ( $d_{ra}$ ) smaller than 0.5 if a high-energy high-detonation-speed explosive is to be used. The LWC AL medium-energy medium-detonation-speed (4300 m/sec) explosive was used, hence the small deviation against the requirement described above ( $d_{ly}/d_{ra} < 0.5$ ).

—Stemming was applied along the entire length of blastholes not filled with the explosive charge.

The explosive used was the Emulgit LWC-AL. Charges were placed by beginning at the bottom of the blasthole and DeM and DeD type electric blasting fuses were used (with delays of 25 ms or 250 ms). Total explosion duration amounted to 3 seconds. As for stemming 25 cm long cartridges wrapped in polyethylene foil and filled with crushed rock were used. The explosive charges were connected in series and the detonation was induced by fixed detonation wiring.

A definite break-out section was expected from driving by blasting. This has been checked by geodetic methods after each blasted cut. In the case of insufficient breaking results correction blasting was performed.

#### Loading and Hauling the Rubble

After blasting, the rubble was hauled away by high-capacity rubber-tired equipment. For rubble loading the GHH LF 6.3 front loaders with a 3 m<sup>3</sup> shovel was used and for hauling away the broken rock the GHH-MK-A-20.1 underground dump trucks equipped with a 10 m<sup>3</sup> bin was used. Loading the dumpers was carried out at the drift crossing nearest to the breaking site or—in the case of the 33 m<sup>2</sup> cross-section drift—within the drift itself, in the vicinity of the breaking sites.

For the actual works on the drifts of the repository construction project a Terex Shafe loader was purchased which pushed a vibrated conveyor table into the heap of rubble and used a pair of grabber arms to forward the broken rock onto the chain-type conveyor that unloads directly into the bin of the dump truck standing behind. This equipment helped a lot to speed up rubble loading and hauling operations.

#### Supporting of Drifts

The method used for creating and supporting cavities in rock is based on the Norwegian Method of Tunneling (NMT; BARTON et al. 1992) widely used in tunnel construction and

drift supporting. Basically, this method follows and applies the internationally accepted NGI-Q rock classification system worked out by BARTON et al. (1993). For this method the appropriate geotechnical identification and classification of rock mass formations to be transversed are of utmost importance. The classification of rock bodies transversed by exploration drifts has been performed primarily on the basis of pilot boreholes for exploration drifts; this information was finalised in the course of preparing the geotechnical documentation for each cut while advancing the drifts

Accordingly, 5 supporting techniques were available. Table 2 lists an overview of the supporting techniques used so far for the completed tunnel lengths. One may observe that no Category I tunnel supports had been used so far, and that mainly Category II and III supports were constructed in the

**Table 2.** Summary of drift support categories used

Supporting category	Length of drift (m)	Percentage in total (%)
I.	0.0	0.0
II.	2 151.85	41.9
III.	2 254.51	41.8
IV.	587.27	9.3
V.	369.45	7.0
<b>Total</b>	<b>5 363.1</b>	<b>100.0</b>

course of advancing the tunneling. The most stringent support category (Category V) was used only for 7% of all drifts. If to deduct the initial segments of the inclines where close to the surface heavily degraded zones were to be transversed while driving the tunnels (261.4 m), only 1.9% of all drifts remain where Category V supporting technology had to be applied. Among the drifts belonging to the envisaged supervised zone only the south end segment of the Tunnel Interconnecting the Groups of Disposal Chambers had a 14.3 m long section where necessitated by a fracture zone this type/category of support has been used.

The completed tunnel supports have two main elements: rockbolts and shotcrete lining. In accordance with the technological specifications, rockbolts have been placed in a specified density and arrangement along the mantle of the drift. As rockbolt fixation cement-based gluing mortar was used applied over the entire length by pressing the mortar with the Atlas Copco (Model MAI) pump into the 45 mm diameter holes drilled for receiving the rockbolts. For rockbolt hole drilling the rig also used for drilling blastholes was used. In the inclines 2.4 m long rockbolts were placed, while in the drifts belonging to the repository construction project rockbolt length varied (2.4 m, 3.0 m, or 4.0 m), depending on cross-section size and rock category. Where the Disposal Chamber Service Tunnel, the Tunnel Interconnecting the Groups of Disposal Chambers and Emergency Sump Tunnel meet 5.0 m long rockbolts were

used as support. 10% of placed rockbolts have been subjected to load testing, not earlier than 24 hours after mortar placement. The load-bearing capacity of a rockbolt was rated “sufficient” if in decayed rock it reached 50 kN, and 100 kN in other types of rock. In the case of rockbolts rated “insufficient” in such tests supplementary rockbolts were inserted in the vicinity. In the case of the head tunnels measured rockbolt rupturing tests have been carried out at locations featuring four different rock types. According to these latter tests the 2.4 m long rockbolts embedded in mortar along the entire length could not be pulled out of the glue mortar with a pulling force of 100 kN.

To find a more favorable location for the larger cross-sections where interconnecting passageways are branching off, for three passageways (out of six) driven for the inclines their positions were relocated by some 5 to 10 m, in alteration of the original planning. In a few cases it became necessary to place 3.5 m long supporting rockbolts at a higher density in such crossings of drifts.

Shotcrete lining is another element in drift mantle supporting, applied—depending on rock class—at varying (8 to 25 cm) thickness as wet concrete paste as base material. The thickness of the applied shotcrete lining was checked by drilling holes while still fresh. The quality/suitability testing and certification of shotcreting has been performed by an independent testing laboratory. For this purpose shotcrete was blown into crates positioned at the worksite of shotcreting to get the concrete samples, then hauled to the laboratory for preparing standard probes for compression stress testing. Certification was based on the actual value established by the compression stress test. In situ testing and rating of the applied concrete lining was by shooting Hilti-nails into the material. For this, a standard explosive charge was used to shoot the nail into the concrete. Rating was based on the depth of penetration of the nail and on the force required to pull out the nail.

#### Pre-injection

Exploration before driving the inclines has been performed in one tunnel by cored pilot boreholes, and by non-cored probe boreholes in the other one. In the further drifts everywhere cored pilot boreholes and two non-cored probe boreholes were performed. These boreholes traversed also zones with permeability values higher than those specified in the authorised construction permit drawings, or from which one had to expect quite significant water inflow. For predicting/monitoring such locations packer well tests in boreholes were applied, the results of which served for planning and executing the necessary technical measures (pre-injection).

The purpose of water exclusion was to isolate the exploratory drifts against the underground system of water movements. This was necessary partly for keeping the tunnel free from water. However, equally important was to prevent that after completing and sealing off the repository the backfilled drift provides a path for water seepage that may result in the contamination of the underground system of

water movements by—possibly radio-isotope laden—water moving along the drifts and entering zones with high permeability.

In the case of tunnels driven during the period of underground exploration pre-injection was applied where in the pilot boreholes and probe boreholes the measured value of transmissivity was in excess of  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s and if over a drift length of 100 m the rate of water incursion reached 10 liters per minute.

Related to drifts belonging to the repository construction project the threshold value for transmissivity is  $4 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, while the rate of water incursion along the drift must not exceed 5 liters per minute per 100 m.

Pre-injection was applied via 16 to 25 holes pre-drilled in a fan-like pattern from the face of the drift. The pressure used to press the cement-based injection mixture into the web of fissures existing around the drift was increased gradually, while the density of the mixture was also increased in steps until the intake capability of the hole started to decline. In the case of drifts belonging to the repository construction project for reaching the more stringent threshold value several situations appeared in which subsequently more than one injection shields was applied from the same tunnel face, and also working with injection materials having different grit sizes became necessary. On longer stretches of drifts that needed injection several overlapping injection shields were applied.

In cases where rock fissurisation on the face of the tunnel was rather severe and the success of injecting could not be achieved with the technique of cement-based injection (the injected material could return to flow down the face), an injection shield was applied over the face of the drift using a polyurethane resin based material. With such shield it was possible to close the fissures over the face by creating a stable coat behind which the cement-based injection material could be pressed with success.

Some 30% of the total length (5363.1 m) of drifts completed required pre-injection for which job some 600 m<sup>3</sup> of injection material was used.

#### Drainage, Water-proofing

Already in the period of driving the inclines it was, and it definitely remains of key importance that an appropriately dimensioned and reliably operating water drainage system is serving the facility. In each incline a separate water drainage system was constructed with several lifting stages to move the water into 250 m<sup>3</sup> interim sumps provided in the tunnels, from where the water is being pumped to the surface in one single stage.

In the interim sumps the water is subjected to preliminary settling and to treatment by special equipment that adds hydrochloric acid to adjust the pH value for getting a neutralised water for use in the shotcreting technology. From these sumps the water was used for the different technological processes (blasthole drilling, spraying to control dust formation).

During the period of works completed so far (before

April 2010) and connected to tunneling and underground space formation the cumulated average of water output amounted to 146.5 liters/min (211.0 m<sup>3</sup> per day).

### Ventilation

Flow-through ventilation at the Western Incline entrance is provided by six Korfmann ALN 8-55 (7.2 to 10 m<sup>3</sup>/s) fans installed in the air lock and operated in the suction mode. For partial ventilation the Korfmann AL 10-300 (16 to 24 m<sup>3</sup>/s) fans were selected, while the ventilation in interim sumps and exploration chambers is provided by Korfmann ESN 6-110 (3.6 to 6 m<sup>3</sup>/s) fans.

The Passageways 1 through 6 interconnecting the inclines are closed by air doors. In Interconnecting Passageway 7 instead the air door a transparent segmented air deflection curtain was installed, in order to speed up and facilitate the frequent movement of equipment. In Interconnecting Passageway 8—being the air connection corridor farthest away from entrance openings—an air door was not provided.

During a period of constructing the inclines and the head tunnels the partial fans for sucking in the air and arranged in the Eastern Incline supplied the fresh air via 1000 or 1200 mm diameter air ducts to the actual faces of the drift. From the viewpoint of ventilation the driving of the Disposal Chamber Service Tunnel and the Transportation Tunnel for Repository Construction, as well as of the Tunnel Interconnecting the Groups of Disposal Chambers has been performed in closely linked arrangement, in order to get the appropriate amount of ventilation air supplied. This arrangement required the coordination of timing and of the technological sequence of operations related to blasting at individual drift faces and to removing the smoke after blasting.

### Performance Data

The arrangement of cavities to be constructed underground made it possible from the very beginning that both inclines could be driven parallel and that two or more drifts could be advanced at the same time. This was

important in order to optimise equipment utilisation and to boost output in driving the tunnels. However, driving the tunnels and other cavities was not the only work task. Certain objects of hydrogeological and geotechnical exploration were installed in a planned way, and pre-injection jobs were performed where necessary. In addition tunnel driving had to be suspended regularly to enable the execution of cored pilot borheoles and of non-cored boreholes, and of pertaining instrumented measurements. One has to consider these circumstances to adequately assess the performance data related to tunnel driving.

Over nearly five years of working in seamless shifts the average output in tunnel driving amounts to 100 m per month, while also the other activities mentioned above were performed. Peak value of monthly performance in tunnel driving was 163.3 m; in that same month two pre-injection jobs were also completed.

### Summary

Subsurface exploration works on the National Repository of Radioactive Waste at Bábaapáti commenced in 2005 by constructing the inclines and by conducting underground exploration and tests. Works continued in 2007 by starting work on the repository construction project. Within the framework of these activities a 5364.6 m long system of drifts has been completed by using modern driving methods that included breaking by drilling/blasting and tunnel supporting by rockbolting and shotcreting techniques. In order to meet the required threshold values cement-based injecting material had to be pressed into the rock mass around the tunnel contour along 30% of the total length of the drift system. In the upcoming stages of work, starting out from this drift system, the disposal chambers for receiving the packages of nuclear waste material shall be excavated and constructed. Simultaneously with the final disposing of such waste material packages constructing additional disposal chambers for the Repository shall be proceeded with.

### References—Irodalom

- BARTON, N., GRINSTAD, E., AAS, G., OPSAHL, O. A., BAKKEN, A., JOHANSEN, E. D. 1992: Norwegian Method of Tunnelling. — *World Tunnelling, June and August*, 11 p.
- BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. 1993: Engineering Classification of rock masses for the design of tunnel support. — *Rock Mechanics* 6(4), pp. 189–236.
- GYALOG, L., FÜRI, J., BORSODY, J., MAROS, GY., PÁSZTOR, SZ. 2010: Geological Mapping of the Bábaapáti Tunnels (A bábaapáti vágatok földtani dokumentálása). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, (this volume [jelen kötet]).
- WATRP 2000: Report of the WATRP Review Team on the evaluation of the Hungarian Work on Selecting a site for Disposal of Low and Intermediate Level Waste (A WATRP vizsgálatot végző csoport jelentése a kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló telephely kiválasztásával kapcsolatos magyar tevékenység értékeléséről). — *Manuscript (kézirat)*, Országos Atomenergia Hivatal, Budapest; Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 707.

## Geological Mapping of the Bátaapáti Tunnels

LÁSZLÓ GYALOG<sup>1</sup>, JUDIT FÜRI<sup>1</sup>, JÁNOS BORSODY<sup>1</sup>, GYULA MAROS<sup>1</sup>, SZILÁRD PÁSZTOR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geological Institute of Hungary H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

<sup>2</sup> Eötvös Loránd University of Sciences, Space Research Group, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a.



**Key words:** fissure fillings, fractures, granite, Hungary, Southern Transdanubia, tectonics, tunnel map, Üveghuta

### Abstract

In the frame of the underground exploration and the implementation of the investment of the National Repository of Radioactive Wastes (NRHT, Bátaapáti, Üveghuta) the geological mapping of all tunnel faces (2546) and associated mantles along the entire 5362 m length of the tunnels was executed by MÁFI between 2005 and 2010. As part of the in situ drawing and tabular documentation the photomontage of the face and the associated mantle section was composed with the ImaGeo Robot Camera. The drafted geological map adjusted over the photobase of the Robot Camera was loaded jointly with the data of geological-tectonic elements in the version of the CoreDump Software adapted to tunnel mapping. 1:100 face, 1:100–1:200 mantle and 1:200-scale tunnel maps were compiled as the final drawing products of the mapping accompanied by 1:1,000 and 1:5,000-scale geological maps of the tunnel environment.



### Introduction

In the frame of the underground exploration and the implementation of the investment of the National Repository of Radioactive Wastes (NRHT, Bátaapáti, Üveghuta) tunnel driving started in Nagymórággy Valley in the region of Bátaapáti in February 2005. Two inclines (the Eastern Incline [Mária Shaft] and the Western Incline [Eszter Shaft] were driven till April 2008 from the 160 m ground surface opening points to the 0 m level (Stage 1). Thereafter, in the frame of the next (second) stage two head tunnels were headed between September 2008 and April 2009 already on the 0 m horizon with the associated interconnecting passageways (the so-called Kishurok [“Small Loop”]). Finally, the so-called Nagyhirok (“Big Loop”) providing access to the designed chambers was established between June 2009 and May 2010 (in the frame of Stage 3) together with the accessory tunnels and sumps within Kishurok (Figure 1). (The layout of the sump shafts and sump wells is demonstrated on an individual figure on

the example of the Western Sump Shaft and Western Sump Well [Figure 2]). The tunnels advanced in 1–3 m grips and all tunnel face and associated mantle sections were subjected to geological-tectonic (as well as geotechnical) mapping. Tunnel driving operations and their geodetic works were directed by Mecsekérc Close Company. Geological-tectonic mapping was executed by the Geological Institute of Hungary (MÁFI), whereas geotechnical mapping was undertaken in the first stage by Mecsekérc and in the second and third ones by Kőmérő Ltd. The code and the length of the specific tunnel sections and the number of the associated faces are presented in Table 1.

The tunnel driving was preceded by the drilling of a variable number of pilot boreholes by tunnels. As for inclines (Stage 1) pilot boreholes within a certain section were effected only in one of them without detailed geological logging. In the frame of Stages 2 and 3, in case of the tunnels of Kishurok and Nagyhirok the tunnel driving operations were preceded by pilot boreholes processed in detail (GYALOG, TÖRÖK 2010).



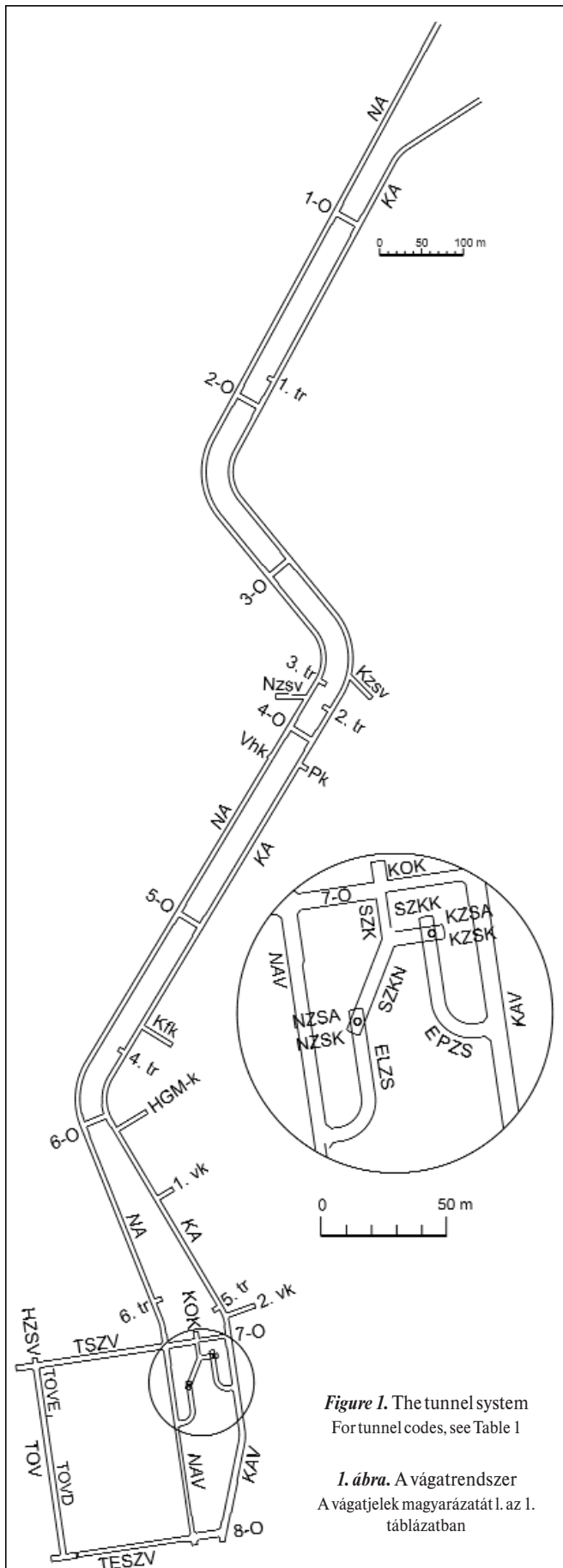


Figure 1. The tunnel system  
For tunnel codes, see Table 1

1. ábra. A vágatrendszer  
A vágatjelek magyarázatát l. az 1. táblázatban

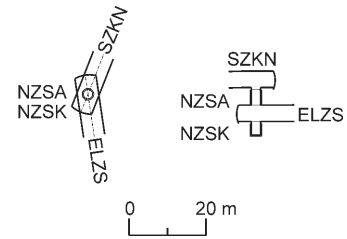


Figure 2. Layout of the Western Sump Shaft and the Western Sump Well in top view and in cross-section

2. ábra. A Nyugati zompakna és zompkút elrendezése felülnézetben és metszetben

The continuous geological-tectonic mapping of the tunnels along their entire length was executed by MÁFI. Additionally, the staff of MÁFI logged the pilot boreholes in the head tunnels and the majority of the boreholes drilled sideways of the tunnels.

The results of the mapping were summarised in reports by tunnel mapping stages (with geotechnical and hydrogeological results besides the geological-tectonic ones). The 5 stages are as follows: inclines between 0 and 600 m (MOLNOS 2007a), between 600 and 1300 m (MOLNOS et al. 2007b), from 1300 m to the end of the Inclines (MOLNOS et al. 2008), Kishurok (JAKAB et al. 2009) and Nagyhurok (SZE BÉNYI et al. 2010).

Firstly the workflow of the underground mapping will be presented followed by its processing with the CoreDump Software developed by MÁFI (presenting also the improvement of the program during the mapping process). The geological sequences, tectonic elements as well as the main types of fissure fillings will shortly be outlined then with demonstrating the final map products of the mapping in the end.

### The Process of Mapping

Given the technology of tunnel driving tunnels were mapped essentially on their face (on the heading face) and on their mantle (side). Due to the continuous grip-wise shotcrete treating of the mantle (some patches of it fell always on the actual face as well) the washed-down sections could be studied in fresh state merely prior to applying the shotcrete, but it was not allowed to go to the wall for security reasons then. However, following the shotcrete treatment the mantle was not and the face was only partly visible.

In the first stage of the underground mapping the images of the face and the actual mantle section were taken from beneath the secured tunnel section. The detailed draft together with the remote “measurements across the air” (from beneath the reinforced tunnel section) was prepared in this phase. In the second stage of the mapping direct observations could be made on the

Table 1. Code and length of the specific tunnel sections with the number of the associated faces

Tunnel group			Tunnel section			
name	length (m)	number of faces	length (m)	name	length (m)	number of faces
Inclines (Stage 1)	3896,3	1870	Eastern Incline	KA	1723.5	842
			Western Incline	NA	1772.5	855
			Interconnecting Passageways 1-6	1-O (10K), 2-O (20K), 3-O (30N-30K), 4-O (40K), 5-O (50N-50K), 6-O (60K-60N)	147.8	60
			Transformer Chambers 1-6	1. tr (1KK), 2. tr (2KK), 3. tr (3KN), 4. tr (8KK), 5. tr (11KK), 6. tr (13KN)	44.8	20
			Potential Chamber	Pk (4KK)	9.2	4
			Eastern Sump Tunnel	Kzsv (5KK),	71.0	32
			Western Sump Tunnel	Nzsv (6KN)		
			Rock-stress Chamber	Kfk (7KK)	33.6	17
			HGM Chamber	HGM-k (9KK)	38.4	17
Testing Chambers 1-2	1. vk (10KK), 2. vk (12KK)	55.5	23			
Head tunnels of Kishurok (Stage 2)	626.7	302	Eastern Head Tunnel	KAV	260.5	140
			Western Head Tunnel	NAV	252.4	113
			Interconnecting Passageways 7-8	7-O (70K-70N), 8-O (80K-80N)	113.8	49
Tunnels of Nagyhurok and the Water Elimination Yard (Stage 3)	839.1	374	Storage Chamber Service Tunnel	1SZV	180.2	78
			Access Tunnel for Storage Chamber Construction	1ESZV	172.1	71
			Storage-interconnecting Tunnel (from S and W)	TOV (TOVD, TOVE)	228.5	98
			Pump Bay, Eastern Pump Bay, Western Pump Bay	SZK, SZKK, SZKN	84.9	33
			Compressor Chamber	KOK	11.7	4
			Supervised Sump Drift, Construction Sump Drift	ELZS, EPZS, HZSV	133.9	86
			Emergency Sump Drift			
			Eastern Sump Shaft, Eastern Sump Well	KZSA, KZSK	13.9	2
Western Sump Shaft, Western Sump Well	NZSA, NZSK	13.9	2			
Total	5362.1	2546			5362.1	2546

Codes in parentheses within the tunnel section codes refer to codes used during the mapping (KK = Chamber in the Eastern Incline, KN = Chamber in the Western Incline, OK = Interconnecting Passageway driven from the East, ON = Interconnecting Passageway driven from the W), the 1 m Tunnel Impact Chamber deepened in the Western Incline was not mapped

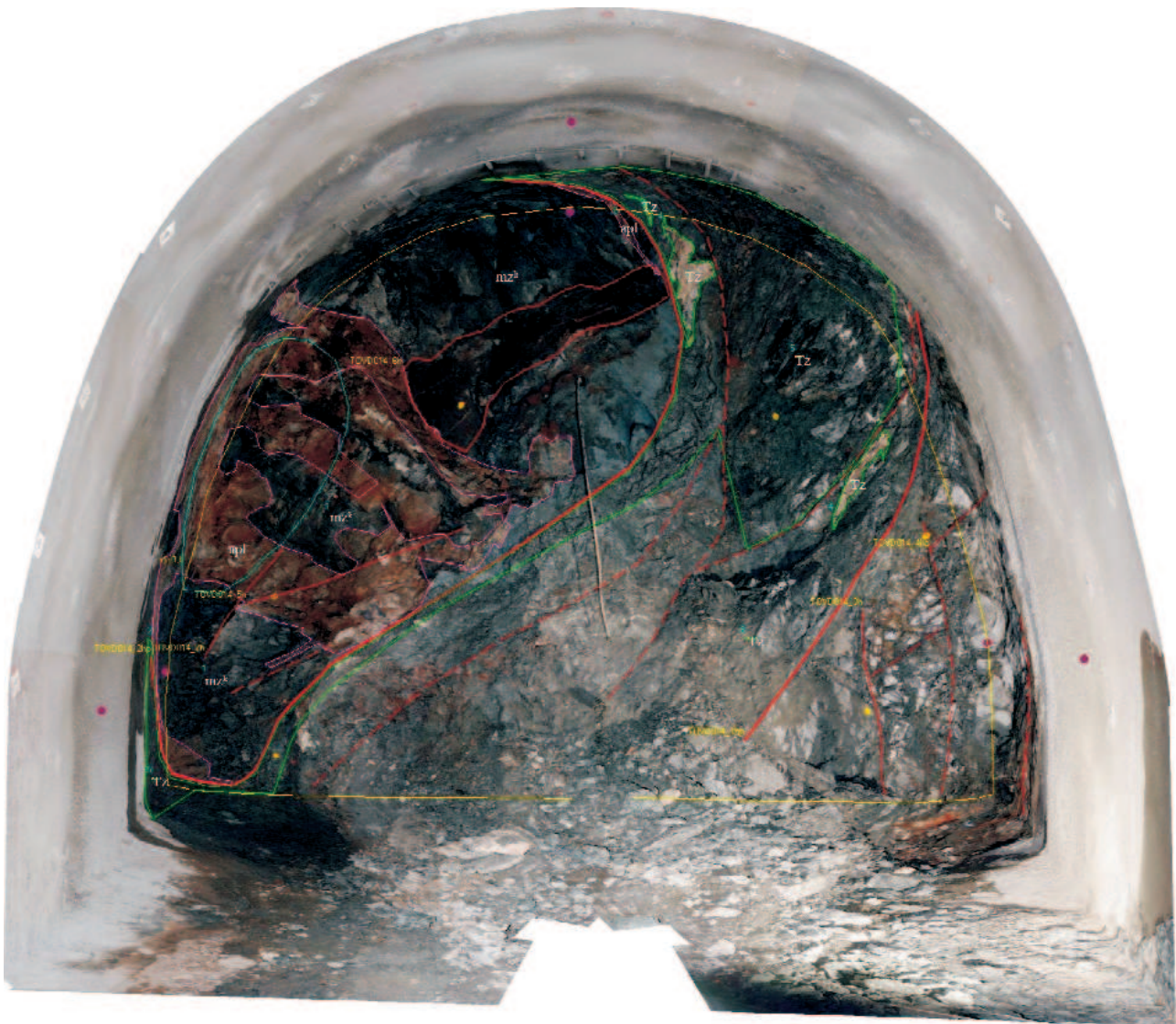
face following the shotcrete reinforcement and the detailed photo as well as descriptive mappings were performed then. The following reinforcement of the face allowed one to take more exact measurements on the free surface and under favourable conditions it was also possible to take samples from the more dangerous fracture zones difficult to access. In the case of encountering dangerous fracture zones extending along the whole grip during the tunnel driving mapping on the face was not allowed by the mining master. During the drive of Nagyhurok this second “descriptive” mapping was realised only if the rock quality in the given grip was of category 4 or 5 (less stable). (Geotechnical mappings classified the rock quality on a scale from 1 to 5.) The underground mapping was followed by digital processing on the ground-based container offices at the entrance of the inclines.

The applied method and the tools of the mapping were elaborated by the professionals of MÁFI (MAROS et al. 2006a, b). The photobase of the face and the associated mantle section composed of 28 images was taken by the self-developed ImaGeo Robot Camera (MAROS et al. 2006a, b). It is a remotely controlled automatic photoset-taking and telemetric tool allowing to project even a hemisphere surface with an optional number of photos. The distance of the midpoints of the images and the programmable number of other reference points were defined by the laser telemeter built in the Robot Camera. (Ákos Gyenis and Gyula Gróf participated in its development.) The face was oriented upon the geodetically fixed anchor points on the mantle and the face-mantle boundary. This photoset served as the basis for setting up the 3D model of the heading face by means of the CoreDump Software developed also by MÁFI (MAROS,

PÁSZTOR 2001); this model also provided the opportunity to compose photomontages of the face, the mantle and of optional view. Geodetic data including the data set of the geodetic positioning of 6 points by faces and the so-called "rapport (reference) map" illustrating all geodetic data of the tunnels and tunnel boreholes were furnished by Mecsekérc. The observation data were loaded in the database and adjusted with vector-based georeferencing to the photomontage by means of the new version of the CoreDump Program (MAROS, PALOTÁS 2000a, b) elaborated originally for the scanning of borehole cores and further developed for tunnel mapping. The experiences acquired during the mapping and the data deriving of the study of the

rocks in the container offices were put on data sheets with predefined fields including all geological and tectonic elements of the rocks and the face considered significant. During the elaboration of the data sheets it was attempted to apply the thesauri used by the program for the specific fields. As a consequence, the established database was easy to manage with a tabular processing software facilitating the simple setting of query parameters. During the first mapping, partly for safety reasons a traditional "manual" photo was taken of the face and the mantle section and the important details by the mapping staff member.

The preparation of the uninterpreted (raw, adjusted) and interpreted face and mantle photo (Figure 3) of the given grip



**Figure 3.** Interpreted face photomontage, grip TOVD014\_021.00

Medium-grained monzonite and aplite on the left and a fracture zone on the right side. Red contour or line (with its yellow identifier next to it) = open fracture, green contour (Tz) = fracture zone, pink contour (apl) = aplite, mz<sup>k</sup> = medium-grained monzonite; other: blue number = serial number of a geological body within the grip, blue contour = dampening, yellow contour = face-mantle boundary, dark pink dot = georeference point, grey = section sprayed with shotcrete

### 3. ábra. Értelmezett homlokfotómontázs, TOVD014\_021,00 fogás

A bal oldalon középszemcsés monzonit, illetve aplit, a jobb oldalon törésszóna látható. Piros kontúr vagy vonal (mellette sárga színnel az azonosítója) = nyílt törés, zöld kontúr (Tz) = törésszóna, rózsaszín kontúr (apl) = aplit, mz<sup>k</sup> = középszemcsés monzonit; egyéb: kék szám = földtani test sorszáma a fogáson belül, kék kontúr = vízszedés, sárga kontúr = homlok-palást határ, sötét rózsaszín pötty = georeferenciapont, szürke = torkrétbetonnal befűjt rész

and the manually drafted 1:200-scale tunnel map made part of the daily office work.

The photomontage of the face image comprises the mantle strip remaining free till the shotcreted part as well. Unfolded it provides the photomontage of the given mantle strip (Figure 4).

The geological and tectonic data sheets were filled upon the in situ field report and occasionally upon the rock samples taken of the face. All rock bodies (more than 20 cm large) discernible on any faces were described on a separate data sheet, with individual serial number within the grip. The tectonic elements were put on one data sheet, they were identified by a running number within a certain grip indicating if the specific element occurs merely on the face, on the mantle or on both of them.

As a result of diverse conditions met during tunnel driving the mapping system adopted in the beginning was occasionally modified. In the first phase of the mapping drafts were made on the printed “manual photo” during descriptive mapping. One of the disadvantages of the method was that the draft was very poorly visible on the colour print in particular in the underground at poor lighting conditions; the other one was that under these unfavourable circumstances the photos were fairly vulnerable.

Given the different approach of the mapping staff it was rather difficult to create a mapping system as uniform as possible. Following the first period the task of the associates working in changed shift was facilitated by the adjustment of the subsequent printed “mantle strips”; this enabled to trace the tectonic and lithological patterns more efficiently (Figure 4).

During the mapping of head tunnels the typical lithological setting, tectonic features as well as the hydrogeological pattern of the fracture zones were put on a separate fracture zone-data sheet. A number of features were specified on this data sheet concerning the generations in the zone; it included the material in them, amount (clasts, matrix), roundness of the grains and sorting together with the nature and thickness of the damage zone and its typical directions.

The historical approach of the mapping process can provide useful lessons for the execution of further similar tasks. Quite naturally, the tunnel mapping initiated in 2005 was attempted to be performed by means of the most up-to-date tools available at the time. The planning was accomplished by László Gyalog (geology), Gyula Maros (tectonics, hard- and softwares) and Zoltán Balla (project management). Several different mapping methods were elaborated for various mapping conditions including a fully digital and an entirely manual “exercise book” method as extremes. A reference network projected on face-mantle, work on scaffolding close to the rock wall, data acquisition in “tablet-PCs” (I-Pad today) connected in network with the model and montage processed by the Robot Camera also figured in the mapping plan of the most stable grips. Some of them were dropped but some others were deployed in practice.



**Figure 4.** Interpreted mantle photomontage compiled of the face montage of Figure 3, grip TOVD014\_021.00 For captions, see Figure 3. Medium-grained monzonite and aplite can be observed on the left and a fracture zone on the right side

**4. ábra.** A 3. ábra homlokmontázsából készített értelmezett palástfotómontázs, TOVD014\_021,00 fogás Feltűl középszemcsés monzonit, illetve aplit, alul törészóna látható. Jelmagyarázat a 3. ábra alatt

The decision on their deployment had different reasons. The primary one was security. As a consequence of some smaller but unexpected collapses and drops of bits of rocks having occurred in the beginning of tunnel driving the mantle section of the unsecured space—however small it was—became practically inaccessible for understandable security reasons. Direct measurements on the face were feasible only following the application of shotcrete on the mantle considerably deteriorating the visibility of geological and tectonic elements. The situation improved to some extent by washing the rock surface.

The second reason was to be found in the mine conditions. Though mining areas established in granitic rocks are comparatively clean the continuously floating dust, the muddy conditions of the region to be mapped, the occasionally several dm deep pools at the face as well as the water dropping or flowing from the fractures proved to be the major enemies of all tools driven by electricity. As a result of the deterioration of the state of the tools subjected to intense use in the mine they had to be replaced quite frequently.

The third reason could be considered as the mining “logistics” (the organisation of mining activities). Due to the constant time pressure mapping was executed simultaneously with other mining work phases pushing the face progressively further away from the mapping staff. Under these circumstances it was a considerable achievement that the continuous digital mapping was maintained during the whole process of tunnel driving.

The mapping method had to be invariably adapted to the rocks and structural conditions. Apart from the incessant development and testing of the applied hard- and softwares it required also to extend or to limit the scope of the observed phenomena time to time. The observation technique had to be adapted to the development of the interpretations and the associated worksheets and databases had to be updated. It required continuous presence and professional feedback. The experiences acquired by the mapping group were systematically discussed on professional meetings trying to make the approach of the staff as uniform as possible. To achieve this objective mapping instructions as well as illustrated petrological and structural geological manuals were prepared. A major role in this work was played by Balázs Musitz, whereas in the adaptation of borehole structural experiences to the tunnel mapping methods by Klára Palotás. The development of the magmatic and metamorphic petrological knowledge base is essentially the merit of Balázs Koroknai, Zoltán Gulácsi and Edit Király. The mapping of fillings was harmonised by Géza Szabó and Erzsébet Rálich. At the same time, Zoltán Gulácsi, Géza Szabó and Amadé Halász contributed with invaluable ideas and experiences to the development of hard- and softwares. And finally, the following colleagues took part in the mapping work: Gáspár Albert, István Bíró, János Borsody, György Don, Márton Forián-Szabó, Judit Fűri, Zoltán Gulácsi, Pál Gyarmati, Amadé Halász, Botond Kemény, András Kókai, Balázs Koroknai, Zoltán Lantos, Árpád Magyari, Péter Majoros, Balázs Musitz, István Oláh,

Klára Palotás, Zsolt Pereg, Géza Szabó and Patrik Török.

### Taking Samples, Tests

Samples were taken on the one hand for making the continuous (20 m leg) mapping sampling of the tunnels and on the other hand to investigate rock types and fissure fillings. Of the samples brought to the ground surface those for instrumental material testing were selected by the expert dealing with the specific issue.

Concerning the rock samples description of thin sections (essentially from inclines—Edit Király), full chemical and trace element (MÁFI), as well as microprobe (GKL—Geochemical Research Laboratory) analyses were executed, whereas fissure fillings were also described upon thin sections (Erzsébet Rálich) and they were subjected to mineral phase (X-ray and thermal analyses—MÁFI) and fluid inclusion tests as well as Ar-Ar radiometric dating (Atomki). As for the material of the pilot boreholes of head tunnels several examinations (petrographical and filling thin section, X-ray and thermal analyses) were performed.

The sampling sites were illustrated on both of the manual draft and the interpreted photomontage. Hence the coordinates of the sampling sites could exactly be specified by means of the rapport map of the geodesists illustrating the planned and the established tunnel sections simultaneously with tunnel driving in true coordinates.

### The CoreDump Program

Initially, the CoreDump Software was developed as a package of the ImaGeo Mobile Core Scanner in order to facilitate the interpretation of tectonic phenomena identified in cored boreholes, their statistical interpretation and the logging of their spatial position (MAROS, PÁSZTOR 2001).

The mantle image of at most 100 cm long and 20 cm diameter core sections is fixed digitally (RGB) by the ImaGeo Core Scanner. The ensued image resolution is at most 360 DPI; it corresponds to one-hundredth-mm detail. These measurement results can be visualised by the Spektra Program Module, which also enables to export them from the images for statistical analysis. Using the CoreDump Software the planar features recognised on the scanned core sections can be fixed and attributed on the image of the core mantle; this image can contain faults, fractures, fillings, mineral alterations, foliation, oriented texture or anything else (MAROS, PALOTÁS 2000a). At the same time, the analysis of the relative time series of events indicated by the features on the core sections is enabled by the CoreTime Software (MAROS, PALOTÁS 2000b). The interpretation of grain-size distribution, grain orientation and surface porosity is facilitated by the PetCore Module (MAROS, PÁSZTOR 2001). The data fixed in relative coordinate system by the CoreDump Program is converted to real-space data, which is effected through the adjustment to the acoustic borehole

televviewer (BHTV) data of the given section also in the CoreDump Program (MAROS, PALOTÁS 2000a, ZILAHISEBESS, SZONGOTH 2002).

The CoreDump Software was made ready for processing the tunnel images of the Robot Camera (MAROS et al. 2006a, b) in 2005, simultaneously with the start of tunnel driving. These versions are already suitable for the geological interpretation of the photo sets taken by both the Core Scanner and the Robot Camera. Within the CoreDump Program orientation, numeric or textual data can be attributed to the point, plane or polygon features marked on the core-scanned images or the photo sets of the tunnels. The data of thus generated line-work can optionally be classified and the results of the subsequent queries of the database can be illustrated on stereographic projections, rose and tadpole diagrams (illustration of dip data of measured geological and tectonic planes as a function of depth or distance) and histograms. The program supports the export of all generated points, lines and planes in the GIS-standard dxf format. Additionally, JPG images can always be made at any workflow stages in optional view and zoom together with the drafted linework, a metre grid to be switched on/off, and titles or without them.

The initial versions of the CoreDump applied in tunnels displayed the acquired face and mantle photos separately. Additionally they were adjusted manually that took much time and energy. Afterwards the program was developed practically each year together with the Robot Camera if occasion occurred. This work was essentially done by Gyula Gróf and Ákos Gyenis under the supervision of Gyula Maros. The development considered also the individual requirements of the mapping staff. The images were positioned in the relative coordinate system by means of the data acquired from the Robot Camera already from the beginnings, whereas the definition of the form of the face proceeded only semi automatically, the operator had to adjust two parameters for getting the picture closest to reality. The monument points necessary for the adjustment of the images had to be put manually one-by-one by the user on the digital photos by means of the software. At this time the user was entirely free to decide how to move the single images by means of the program. This process required much concentrated effort and occasionally it could take several hours. The early versions provided already the opportunity to define the data of the so-called georeference points in order to enable the positioning of the mapped grip in real space but due to the lack of 3D display the related calculations brought unverifiable results. Hence they were stored only in the database. The georeference points mark the boundary of the face and the mantle, the monument points of the mantle as well as the site of significant boreholes and they all have EOJ (Uniform Nationwide Projection) coordinates measured by geodesists.

The primary objective of the further development of the CoreDump Program was to achieve 3D visualisation; the secondary was to alleviate the burdens of the mapping staff and to reduce processing time. These aims were met partly

by the program simplification and partly by the automation of the work processes.

This seemingly simple task brought major difficulties, since the above targets had to be achieved by providing continuously the opportunity to human intervention in the specific work phases. Simultaneously, the possibility of later developments should not be excluded either. The first issue was important, since the program works frequently with a large number of parameters. As a consequence it is not always sufficiently intelligent to select the most ideal option available and the latter has to be taken seriously to satisfy eventual future demands.

The realisation of the aforementioned objectives required the partial reconsideration of the program elements and functions. The process of importing the 28-piece photobase was modified and the procedure of preparing the 3D polygon framework of the face was also partly amended. The number of points with their distance measured was nearly tripled to 72. The adjustment of the images was also automated in a way facilitating the manipulation of the final result by reselecting the points of adjustment or the adjustment method later if necessary. Within the existing panels the buttons of certain functions were occasionally rearranged enabling to have a better overview of the system. It was attempted to make the program as user-friendly as possible.

In the new version of CoreDump the loading of point data with geodetic coordinates is automated. Its “result” can be visualised and rotated immediately in a small pop-up window. The position of the georeference points, their apparent situation on the polygon framework of the face as well as the cardinal directions are visualised by the program simultaneously in 3D. It facilitates to control rapidly and easily the eventual false measurements, the eventual measurement errors of the geodesists as well as mixed data.

Another new feature is that the composite image of the face created from the 28 base photos is fitted on the 3D triangular model of the face by the program. The software allows generating a clip of the face of optional view as well as visualising the unfolded top view of the mantle (Figure 4).

The composition of such optional views is a time-consuming process, since the single images have to be projected by the program with fix spatial data on the face model. This time can be spared if the images in the generated views are saved.

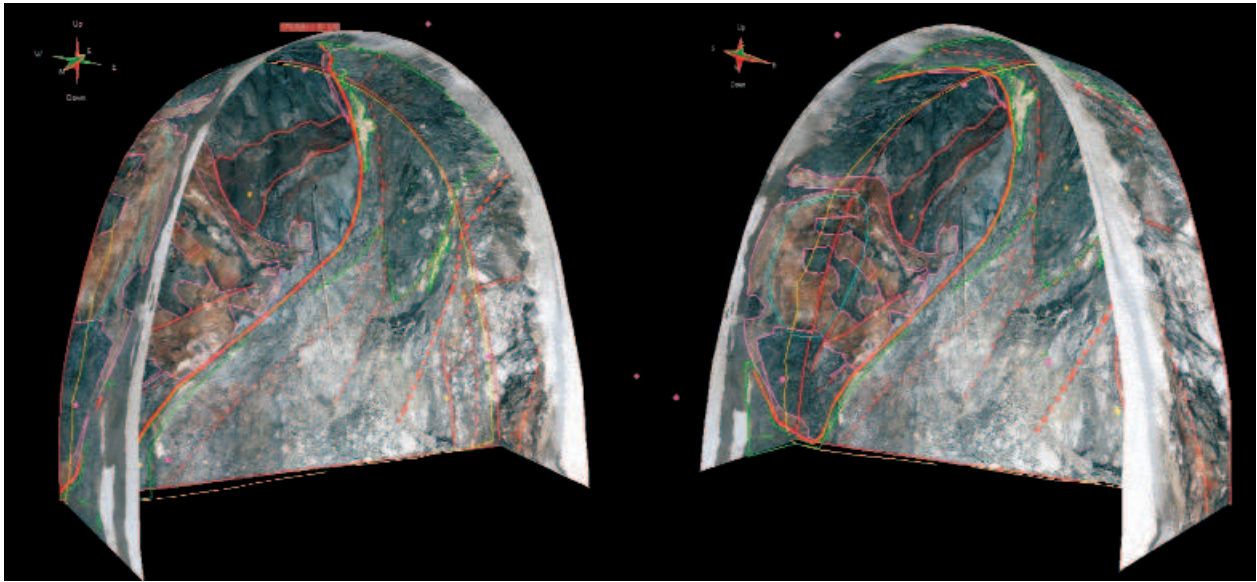
An additional novelty is that after saving the face and mantle images a 3D view window georeferenced in the EOJ (Uniform Nationwide Projection) coordinate system can be displayed; in this window the given grip can be passed round using the mouse or the clipboard. In the window the features as well as the images of the face and the mantle can individually be switched on/off. The program provides the option to select any drawing elements—e.g. digitised fractures—or to visualise the dip azimuth and angle calculated upon the plane orientation. If the values are found false it is also possible to load the data which were measured by the mapping staff member. In this

case a dimmed section will be drafted by the program corresponding to the record measured on the spot. It allows the easy elimination of the eventual errors of measurement.

The program also provides the option to visualise the face and mantle images in the zone of the grip in 3D—even through several grips—facilitating to get a better overview and understanding of the displayed spatial position of the features (Figure 5). The planes assigned to the features occurring in the 3D face are visible in space; they can be processed and rotated as well. Due to the fact that the fixed features of other grips can be visualised or even processed in the vicinity of the specific grip it provides an excellent opportunity for the correlation between the features of different grips. Simultaneously, it predicts the expected position and orientation of the features anticipated in the next grip.

The mantle image is visualised by the program in top view, which is better adapted to map display. It can be

rock types of the *Mórógy Granite Formation* (porphyritic and rarely-porphyritic monzogranite, contaminated monzogranite, contaminated monzonite and monzonite). Along the first 600 m long section extending from the opening point to the first damming zone (to the so-called Klára Fault) porphyritic monzogranite was the predominant rock type. It was followed by the alternation of porphyritic and rarely-porphyritic monzogranite with monzonite lenses to approx. 1050–1150 m. Contaminated monzonite became the prevailing rock type further with monzonitic and contaminated monzogranite bodies to 1500–1570 m. The alternation of contaminated monzogranite and contaminated monzonite was characteristic for the last section of the inclines with a larger microgranite body. Rarely-porphyritic monzogranite dominates in the environment of Kishurok and Nagyurok to the NE–SW striking Patrik Fault with alternating contaminated monzogranite and contaminated



**Figure 5.** 3D image of the TOVD014\_021.00 grip created by CoreDump with geological interpretation in two views  
Yellow = face-mantle contour, red = open fracture, green = fracture zone, blue = dampening, pink = aplite, pink point = point of georeference

**5. ábra.** A TOVD014\_021,00 fogás CoreDump által létrehozott térbeli képe földtani értelmezéssel, két nézetben  
Sárga = homlok-palást kontúr, piros = nyílt törés, zöld = töréses óv, kék = vizesedés, rózsaszín = aplit, rózsaszín pont = georeferenciapont

realised by projecting the image of the tunnel taken originally in its interior on a rectangular plane and mirroring it on the longitudinal axis of the tunnel tract visible on the image as though the mantle image were unfolded on the axis of the roof regarded from the exterior in top view.

### Geological Sequences

On the data sheet used for the mapping of rock types the baseline data of the examined rock (mapping data, name of the rock body) as well as its main characteristics (position, size, contacts, colour, grain size, mineralogical composition and characteristics and metamorphic patterns) were given.

The tunnels were driven almost exclusively in different

monzonite getting again the upper hand to the S of it. In the NW corner of Nagyurok the SW continuation of the contaminated monzogranite – contaminated monzonite section penetrated in the last track of the inclines can be observed.

Some cm to several dm thick rock dykes—essentially aplites—occur quite frequently in the *Mórógy Granite*. Their amount increases substantially along some sections and they might as well provide 10% of the material in the tunnels. Such enrichment in dykes can be encountered in the inclines between 1400 and 1600 m as well as in the NW corner of Nagyurok. On some tunnel faces their proportion may achieve as much as 50% (e.g. Storage-interconnecting Tunnel in the grip TOVE005\_13.5).

The *Mórógy Granite* is crossed by some dykes of the

Cretaceous *Rozsdásserpenyő Alkali Basalt Formation*. Such dykes were crossed between 50 and 60 m by the Western Incline (with NE–SW strike), between 80 and 150 m (with NE–SW strike) and between 580 and 640 m (with E–W strike) by both inclines as well as at the end of the inclines and in the NW corner of Nagyhurok (with equally NE–SW strike). This latter was the largest one which has already been observed in Borehole Üh–27. It was also crossed by both inclines as well as the Storage Chamber Service Tunnel and the Storage-interconnecting Tunnel. (Some substantial water inflow occurred along this dyke in the tunnels.)

### Tectonic Elements

Apart from the measured data (dip azimuth, angle of striae) the geometry of the specific feature, the characteristics of the fissure filling, the nature and intensity of water occurrence as well as the type of displacement were described on the tectonic data sheet. As for the tectonic elements linear geological bodies (e.g. mafic inclusions, aplite veins and dykes) were illustrated witnessing the traces of early structural processes as well as foliation indicating plastic deformation together with mylonitisation and mylonite.

Open and closed fractures were distinguished that was important essentially from hydrogeological aspect. A fracture was qualified open if dampening, druse carbonate filling or limonitisation was detected along it.

The track of thick, water-conducting fractures can easily be detected even after shotcrete treatment, since they are accompanied by lime precipitations and dripstone formation (Photos 1–2). Making use of the data of pilot boreholes and well-test data of sounding boreholes sections with high water conductivity were injected even before tunnel driving. Accordingly, zones of high water discharge were less distinctively manifested during the mapping. Upon their significance fractures were divided in three classes. The significant and the less significant ones were called 200 and 100, respectively, referring to the measure of the map (1:200 or 1:100), on which the given feature is illustrated. The dip azimuth of the 200 and 100 fractures was recorded during the mapping. The less important fractures without measured characteristics but contributing to the knowledge of the generic fracture setting are demonstrated with dashed lines on the map. If the thickness of a fracture zone exceeded 10 cm it was agreed to be specified as a fracture zone.

Several main fracture directions were distinguished during the previous exploration phases (MAROS et al. 2003). Consequently, the NE–SW striking fracture group parallel with the Mecsekalja Zone was called „strike-directional”, whereas the one nearly perpendicular to it and striking between NW–SE and NNW–SSE was given the name „cross-directional”. Additionally, the E–W (WNW–ESE) and the N–S striking fracture groups are also significant.

Some of the larger fracture structures crossed by the tunnels feature damming or water-conducting effects with fairly different properties from their environment. The



Photos 1–2. Precipitation of lime and dripstone along an open fracture (Interconnecting Passageway 3)

1–2. fénykép. Mész kiválás és cseppkő nyílt törés mentén (3. összekötő várat)



damming zones exhibit a characteristic E–W strike. Among them the Klára Fault and the Péter Fault were penetrated by the inclines at 540–590 and 1450–1500 m, respectively, justifying their damming nature. Water-conducting fractures feature basically NE–SW strike. The so-called Patrik Fault crossed by the two head tunnels of Kishurok as well as the Storage-interconnecting Tunnel is the most important of them.

### Fillings

Due to their hydrogeological impact the investigation of fissure-filling materials was of vital importance. The enormously rigid behaviour of leucocratic (feldspar-rich) rock differentiations (leucocratic monzogranites and aplites) was a conspicuous experience during tunnel driving. As a consequence, they featured intense fracturing and occasionally high water conductivity probably associated with it (SZEBÉNYI, RÁLISCH 2008). The chloritic or clay mineral simple fissure fillings are mostly dry; the simple, one-generation carbonate fillings rarely yield water either. Nevertheless, the more diverse the filling composition, the more frequently it split or opened and was refilled the greater the possibility that veins of high water conductivity could form in some places of the fracture plane. The clay content acts against water-conducting, whereas the carbonate content enhances the aptitude of the fracture zones to conduct water (JAKAB et al. 2009).

Clay minerals, carbonate, chlorite and the loose iron-oxide-hydroxide precipitations are the most frequent fissure-filling materials in the tunnels, whereas epidote and quartz veins and quartz dykes occur less often. Pyrite, prehnite and fluorite can be encountered in the veins as accessory minerals. A fracture filled exclusively by a single mineral is not characteristic, some filling material can predominate along a certain section but the nature of filling in a fracture might as well change within a short distance. As a result of repeated openings sophisticated internal structures occur frequently. Photo 3 illustrates a filling formed through multiple openings, in which a carbonate clast derived of a former filling and several granitoid pieces “swim” in the carbonate matrix.

Clay minerals predominate in the fracture zones. Montmorillonite, illite and palygorskite occur most frequently of them. The later could precipitate of solutions rich in Mg (KOVÁCS-PÁLFFY, FÖLDVÁRI 2004). With regard to fissure fillings chlorite veins seem to be one of the most frequent ones. During the mapping the term “chlorite” was used as the collective noun of a mineral group but it can also refer to some other minerals e.g. green-black mica as well. It can be suggested that several other members of the group also occur in the tunnel, since its several shades could be distinguished visually. The thickness of chlorite varies; it can extend from a breath thin film to several cm. Apart from being a fissure-filling mineral chlorite occurs in the enclosing rock either as the product of the hydrothermal breakdown of the non-ferrous mixture components. Fissure fillings of symmetric carbonate



*Photo 3.* Breccial fissure filling (Storage-interconnecting Tunnel, sample TOVD065/1/1)

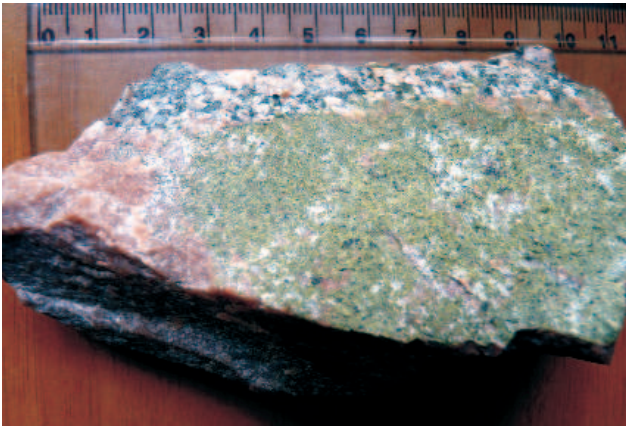
*3. fénykép.* Breccsás repedéskitöltés (Tároló-összekötő vágat, TOVD065/1/1-es minta)

bands and stripes can be observed frequently bearing witness to changing conditions during different opening phases. White (calcite, eventually dolomite), pink (calcite, rhodochrosite), brown (siderite, ankerite), light green and creamy versions were distinguished during the mapping by the geologists. However, it has to be emphasised that these are names given in the field; their instrumental analysis is still ahead. Quartz veins occur occasionally as stocks in the aplite situated commonly inside the aplite body having monomineralic, large-crystalline pegmatoid nature then. One part of the quartz derives of the mineral components of the enclosing rocks. It got in the solutions having created the filling as a clastic mixture component (KOVÁCS-PÁLFFY, FÖLDVÁRI 2004). Another part occurs as the hydrothermal impregnation of the loose matrix of intrusive breccia. Epidote appears both as secondary mineral and as rock-forming accessory but it can be encountered in fissure fillings as well. Epidote veins occur typically in monzogranite contaminated with leucocratic schlieren and in contaminated monzogranite as well as alongside aplite veins (Photo 4) but they can also be encountered in some smaller fractures not figured in the tectonic database. The detection of the tiny difference in the shade of the epidote and chlorite minerals was made difficult during the mapping by both changing moisture and lighting conditions.

Fluorite was encountered rather frequently during the last phase of tunnel driving; green, violet and colourless versions were equally observed (Photo 5).

### Maps

Drawing documents guide from the mapped face to the geological maps of the tunnel environment in several steps. The face observed during the mapping is demonstrated by the face map. Instead of featuring one single observable



**Photo 4.** Epidote vein filling on aplite dyke (Eastern Incline, sample KA782/3/1)

**4. fénykép.** Epidotos érkitöltés aplitteléren (Keleti lejtősakna, KA782/3/1-es minta)



**Photo 5.** Fluorite, carbonate fissure filling (Storage Chamber Service Tunnel, sample TSZV043/2/2)

**5. fénykép.** Fluoritos, karbonátos repedéskitöltés (Tárolói szállítótávagat, TSZV043/2/2 minta)

section a compound image by 25-50 m long sections made up of 1-3 m long mantle sections of grips is illustrated by the mantle map. The geological picture is shown by the 1:200-scale tunnel map in a fictive plane (in 2 m height of the tunnel) along the entire length of the tunnels. As for the 1:1,000-scale tunnel map it displays already the cross-tunnel space and the related environment as well. Finally, the geological results brought about during tunnel mapping are emplaced in the broader geological environment by the 1:5,000-scale map.

#### *Face Map*

1:100-scale geological maps were compiled of all tunnel faces with photobase and geological interpretation (Figure 6). The photobase was the photomontage

processed by the CoreDump Program. The exact position of the specific face in the tunnel can be seen on a separate frame. Additionally, the layout of the georeference points measured geodetically by Mecsekérc as well as their attributes are also illustrated together with the position of pilot boreholes on the face.

#### *Mantle Map*

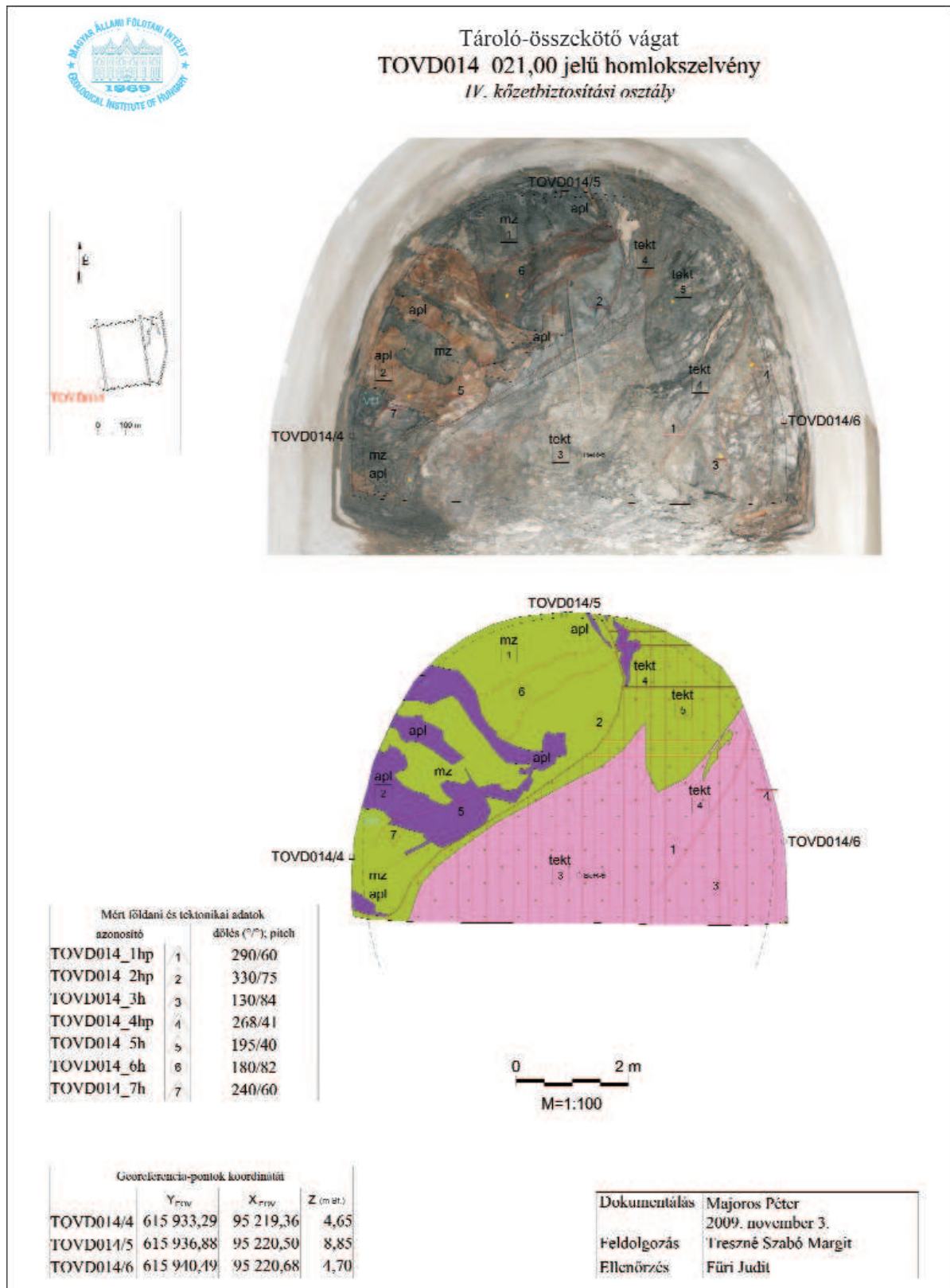
Concerning the tunnel mantle 1:100-scale mantle maps were compiled by 25 m sections in inclines, whereas 1:200-scale ones by 50 m sections were composed in head tunnels. The related method was elaborated by Gáspár Albert (ALBERT et al. 2006a, b). The software-based preparation and supervision of the specific sections was also done by him. The baseline material of the mantle map is the photomontage taken of the grip mantle by CoreDump. AutoCad Map 3D Program was used for map processing. The photomontage was adjusted upon the measured georeference points by means of the Autodesk Raster Design Software. The mantle maps were processed in central cylindrical projection idealising the unevennesses of the real surface without featuring the bottom. Its model was elaborated by ALBERT (2009). The maps are in coordinate systems referenced to the tunnels in which the horizontal axis corresponds to the longitudinal tunnel axis; it has a metric scale and its origin is the start point of the specific tunnel. The wall of the tunnel and its roof are projected on a plane parallel with the vertical tunnel axis as if they were unfolded in top view so that the left side of the wall, the roof and the right wall side can be found invariably on the upper map edge, in the middle and on the lower map edge, respectively (tunnel driving advances on the map to the right).

The drawing interpretation was performed by the georeferenced adjustment of the mantle stripes (Figure 7) serving as the basis for the final geological mantle map (Figure 8). To make the codes visible a detail of the latter is illustrated on Figure 9.

#### *1:200-scale Tunnel Map*

The geological map of the tunnels and their environment were prepared on diverse scales as well (Figure 10). The 1:200-scale geological map of the tunnels (in 2 m height) was completed as baseline document. The manually processed 1:200-scale map was subjected to continuous correction during the digitising process, since the real excavation section has not yet been available then.

Tectonic elements were correlated already on the 1:200-scale map across the inclines and the head tunnels. The regionally changing typical directions of the fracture zones were determined in the tunnels together with their fillings, the filling characteristics as well as the specific damming-isolating zones. The final map of Stage 1 (the first 600 m of inclines) was compiled by Klára Palotás, the rest by Judit Fűri.



**Figure 6.** Face map of the grip TOVD014\_021.00

Tároló-összekötő vágat = Disposal-interconnecting Tunnel, TOVD014\_021,00 jelű homlokszelvény = face map TOVD014\_021,00, IV. közetbiztosítási osztály = supporting category IV, Mért földtani és tektonikai adatok = geological and structural data observed, azonosító = code, dőlés = dip, Georeferencia-pontok koordinátái = coordinates of the georeference points, EOVS = Uniform Nationwide Projection, m Bf = m asl (Baltic System), Dokumentálás = mapped by, Feldolgozás = processed by, Ellenőrzés = checked by

**6. ábra.** A TOVD014\_021,00 fogás homloktérképe

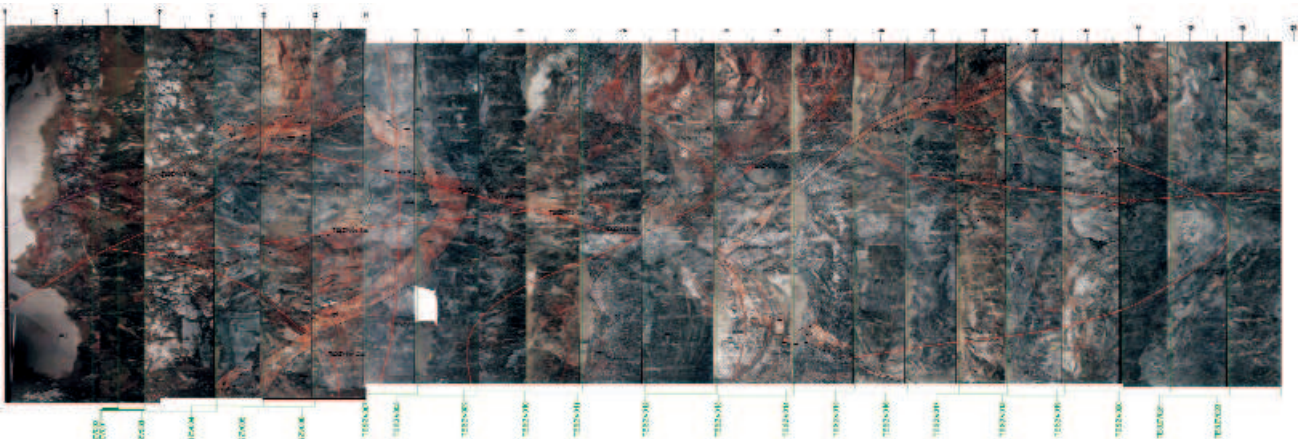


Figure 7. Photobase montage of the 1:200-scale mantle map of the first 50 m long section of the Access Tunnel for Storage Chamber Construction with geological-tectonic interpretation

For the explanation of the coloured lines, see Figure 8

7. ábra. A Tárolóépítési szállítóvágat (TESZV) első 50 m-es szakasza 1:200-as palásttérképének fotóalap-montázsja földtani-tektonikai értelmezéssel  
A színes vonalak magyarázatát l. a 8. ábra alatt

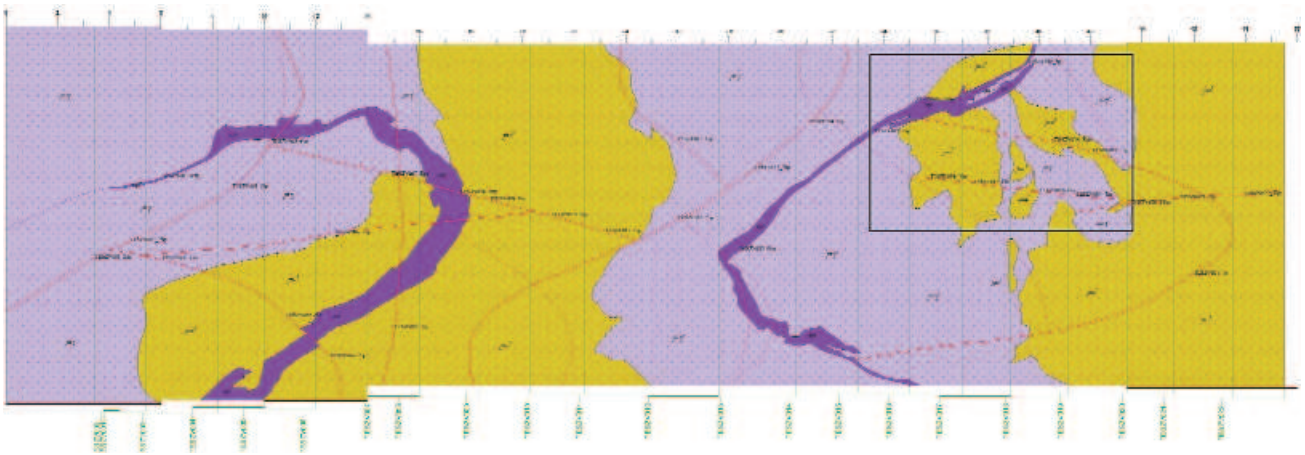


Figure 8. Final geological mantle map of Figure 7

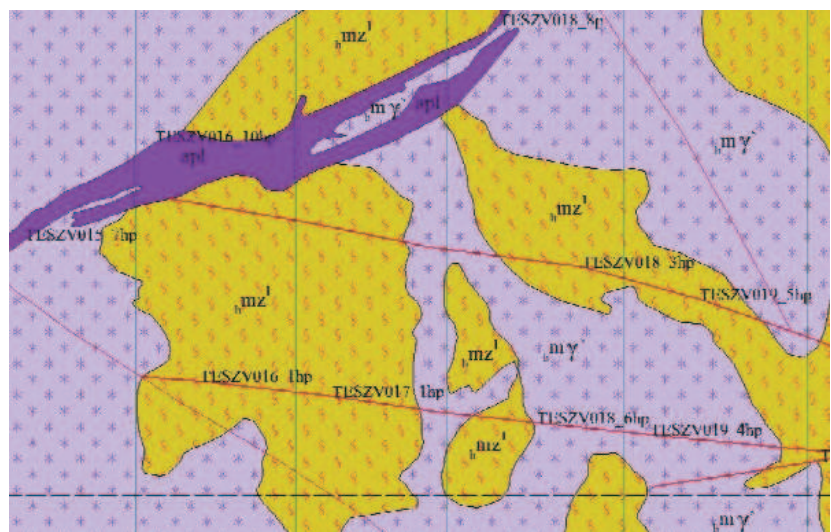
Violet ( ${}_hmy$ ) = contaminated monzogranite, mustard-yellow ( ${}_h mz$ ) = contaminated monzonite (with leucocratic schlieren), dark violet (apl) = aplite dyke, red line = fracture with its code next to it (tunnel code, grip number, fracture number within the grip, is it is visible on the face and/or mantle or not), green vertical line = cross-section of the face with its code below it, black rectangle = contour of Figure 9

8. ábra. A 7. ábra tisztázati földtani palásttérképe

Lila ( ${}_h my$ ) = kontaminált monzogranit, mustársárga ( ${}_h mz$ ) = (leukokrata slirekkel) kontaminált monzonit, sötétlila (apl) = apittélér; piros vonal = törés, mellette azonosítója (vágatjel, fogásszám, fogáson belüli törésszám, homlokon vagy/és paláston látszik-e), zöld függőleges vonal = vájvég-homlok metszete, alatta jele, fekete téglalap = a 9. ábra kivágata

Figure 9. Detail of Figure 8 (mantle map)  
For captions, see Figure 8

9. ábra. A 8. ábra (palásttérkép) részlete  
Jelmagyarázat a 8. ábra alatt



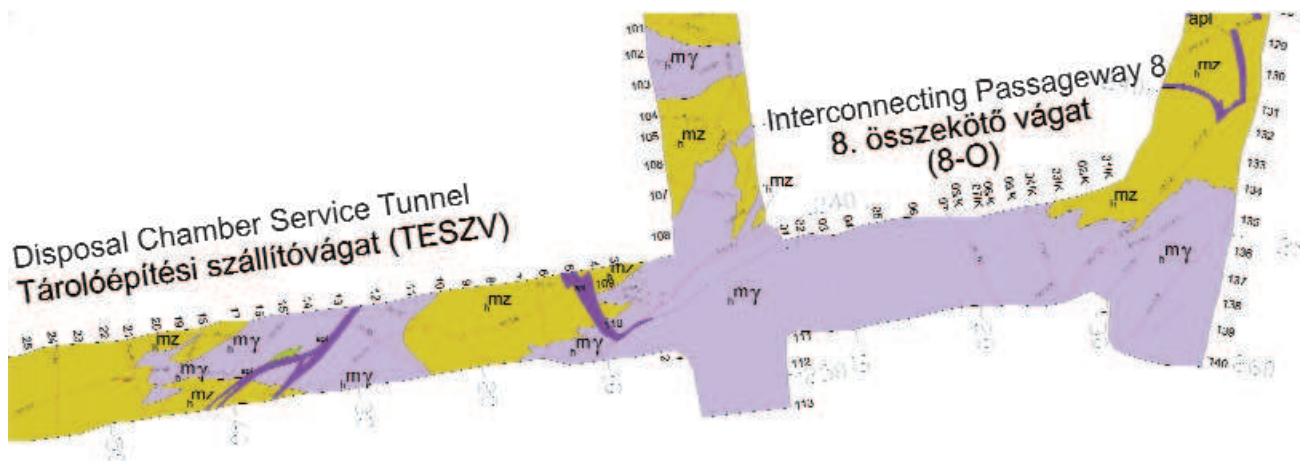


Figure 10. Detail of the 1:200-scale tunnel map

Violet ( $m\gamma$ ) = contaminated monzogranite, mustard-yellow ( $mz$ ) = contaminated monzonite, dark violet (apl) = aplite dyke, red line = fracture (with its azimuth and dip in parentheses); the length of the section by 10 metres and the grip numbers are figured on the two sides of the tunnel. The photomontage of the first 50 m of the Access Tunnel for Storage Chamber Construction is illustrated on Figures 7 and 8

10. ábra. Az 1:200-as vágatterkép részlete

Lila ( $m\gamma$ ) = kontaminált monzogranit, mustársárga ( $mz$ ) = kontaminált monzonit, sötétlila (apl) = apittelér; piros vonal = törés (zárójelben iránya és dőlése); a vágat 2 oldalán a szakasz hossza 10 m-enként, illetve a fogásszámok szerepelnek. A TESZV első 50 m-ének fotómontázsa és palástterképe látható a 7. és 8. ábrán

### 1:1,000-scale Tunnel Map

A 1:1,000-scale geological map was prepared in the 2 m high plane of the tunnels of an approx. 80-150 m wide area along them on both sides as a function of available complementary borehole data. Firstly it was prepared of the section of Mapping Stage 3 (MAROS 2008) and it was compiled subsequently of the full length of the tunnels.

In this map it was attempted to correlate the fracture zones, vital fractures, different rock types and dykes occurring between the tunnels. A certain problem during the execution of this task was that the alterations accompanying the fractures and the fissure fillings exhibited significant diversity even within short distances. As for larger zones the estimation of the measure of displacement was affected by the confinement of the exposure to the tunnel. The map of Kishurok and Nagyhurok is displayed on Figure 11; one of their detail is presented on Figure 12.

Further important information was provided by the data of tunnel boreholes. Given that the details can better be observed in boreholes some discrepancies occurred with the tunnel mapping data due to the different scales. One such example: leucocratic schlieren could be observed in the contaminated monzonite at the end of the Storage Chamber Service Tunnel (in the NW part of the tunnel) but they were not crossed by Borehole BeR-7 or maybe they were but along their length and it was thus identified in the borehole log as of monzogranitic composition. In contrast to the boreholes azimuths can be measured in the tunnels (pilot boreholes were not subjected to core scanning, in its absence azimuths could not be measured either). A serious problem in assuming the nature of displacement was also that due to multiple rejuvenations the older striae were overwritten resulting e.g. in encountering three different directions occurring on one single fracture plane. The nature of rocks

evolved during the mixing of the magma is fairly variable even within one grip or continuous transitions can form between different rock types; both cases complicate the delineation of a single rock body.

### 1:5,000-scale Map of the 0 m Level in the Environment of Head Tunnels

The geological-tectonic picture of the broader environment of the tunnels was illustrated on the 1:5,000-scale map (Figure 13) only in the region of the head tunnels in the 0 m aBSI (above Baltic Sea level). It became part of the map series representing the broader surroundings of the area on vertical cross-sections and by 50 metres on horizontal profiles (BALLA 2010a).

The structures stretched in a predominantly NE-SW direction are clearly manifested on the map. The changes in dip suggest the presence of folds as well (MAROS 2006, BALLA 2010b).

With regard to tectonic elements only the major fracture zones are represented on the map. The most frequent and largest fracture zones are essentially parallel with the aforementioned structures with some NW(WNW)-SE(ESE) ones occurring also quite frequently and some occasional N-S elements. The damming zones exhibiting E-W strike were illustrated with different colour and marked with separate name.

### Summary

Making use of new technical achievements during the geological-tectonic tunnel mapping a new mapping system was elaborated extended with new elements. By means of the in situ deployment of the Robot Camera and the CoreDump

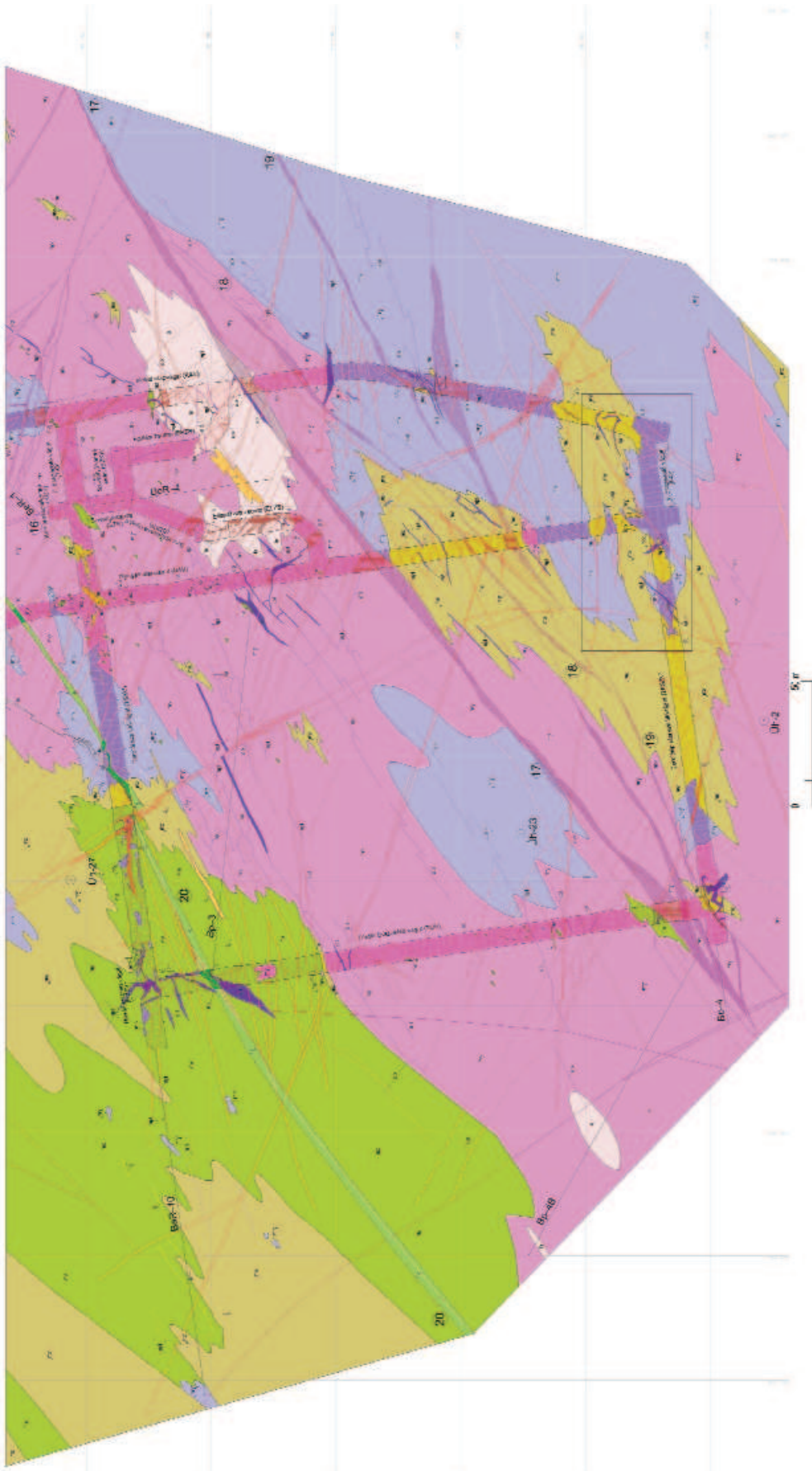
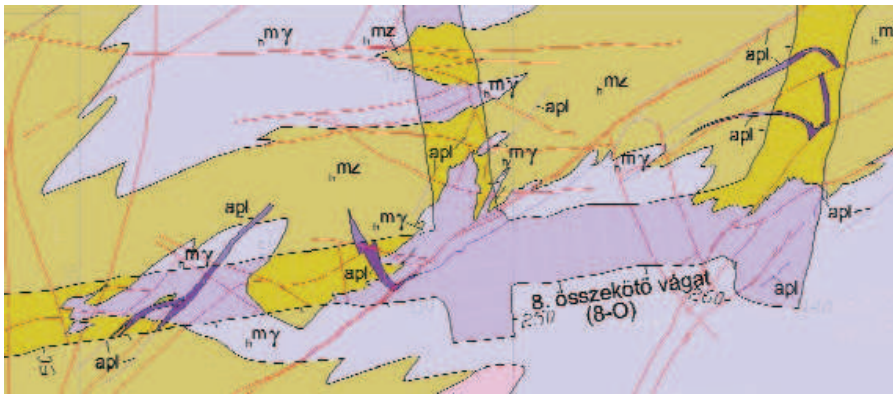


Figure 11. 1: 1,000-scale tunnel map in the region of head tunnels

The shading of the sequences is darker in the tunnels than elsewhere. Mórággy Granite Formation: pink (m<sub>g</sub>) = monzogranite, pink (m<sub>g</sub>) = contaminated monzogranite, mustard-yellow (m<sub>z</sub>) = contaminated monzonite, green (m<sub>z</sub>) = monzonite, dark violet (apl) = aplite dyke; Rozsdásszerű Alkali Basalt Formation: vivid-green (K) = Cretaceous alkali basalt dyke; tectonic signs: red line = fracture, lilac hatched (within the tunnel cross hatched) band = fracture zone, number in circle = serial number of the fracture zone; other signs: BeR-10 = borehole code with its position (with its projection, double circle represents vertical borehole), red rectangle = contour of Figure 12

11. ábra. 1: 1000-es vágattérkép az alapvágatok térségében

A képzőmenyiszinek a vágatokban erősebb, a többi részen halványabb árnyalatúak. Mórággyi Granit Formáció: rózsaszín (m<sub>g</sub>) = monzogranit, lilá (m<sub>g</sub>) = kontaminált monzogranit, mustársárga (m<sub>z</sub>) = kontaminált monzonit, zöld (m<sub>z</sub>) = monzonit, sötétlila (apl) = aplittelér; Rozsdásszerű Alkali Basalt Formáció: élénkzöld (K) = kréta alkálibasalt-telér; tectonikai jelek: piros vonal = törés, lilá sraffozott (vágaton belüli négyzetes) sáv = törésvonal, szám körkörös = törésvonal sorszáma; egyéb jelek: BeR-10 = fúrás helye (vetületével, függőleges fúrásnál dupla körrel jelölve), fekete téglalap = a 12. ábra kivágata



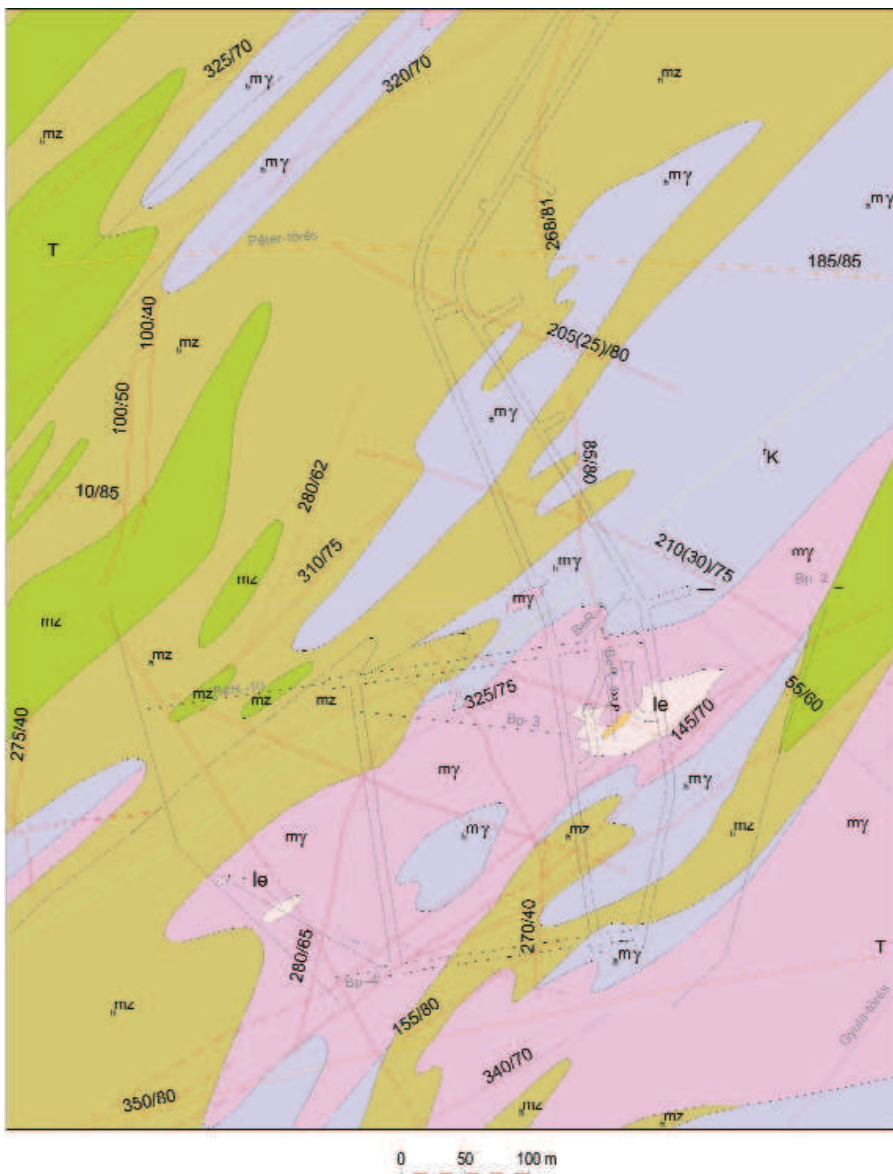
**Figure 12.** Detail of the 1:1,000-scale tunnel map

8. összekötő vágat = Interconnecting Passageway 8

For captions, see Figure 11

**12. ábra.** Az 1:1000-es vágattérkép részlete

Jelmagyarázat a 11. ábrán



**Figure 13.** 1:5,000-scale geological map of the broader surroundings of head tunnels in the 0 m level

Mórány Granite Formation: pink (my) = monzogranite, violet (my) = contaminated monzogranite, mustard-yellow (mz) = contaminated monzonite, green (mz) = monzonite, pale-pink (le) = leucocratic monzogranite, orange (ξ) = syenite; Rozsdásserpenyő Alkali basalt Formation: vivid-green line ('K') = Cretaceous alkali basalt dyke; tectonic signs: red line = fracture, fracture zone (with azimuth and dip above it), orange line (T) = damming zone with its name; other signs: green line = tunnel borehole with its code next to it, double gray line = tunnel (or the projection of inclines), BeR-10 = borehole code

**13. ábra.** Az alapvágatok tágabb környezetének 1:5000-es földtani térképe a 0 m-es szintben

Mórányi Gránit Formáció: rózsaszín (my) = monzogránit, lila (my) = kontaminált monzogránit, mustársárga (mz) = kontaminált monzonit, zöld (mz) = monzonit, halványrózsaszín (le) = leukokrata monzogránit, narancssárga (ξ) = szienit; Rozsdásserpenyői Alkálibazalt Formáció: élénkzöld vonal ('K') = kréta alkálibazalt-telér; tektonikai jelek: piros vonal = törés, töréses öv (fölötte iránya és dőlése), narancssárga vonal (T) = torlasztó öv, a nevével; egyéb jelek: szürke vonal = vágatfúrás, mellette a jele, dupla szürke vonal = vágat (a lejtősnaknál a vetülete), BeR-10 = fúrás jele

Software during data processing this method enabled the management of a large amount of geological-tectonic data. The face and mantle maps prepared as the final documents

are the detailed mapping products of the tunnel environment. The compiled maps demonstrate the geological-tectonic pattern of the region extended to its broader environment.

## References — Irodalom

- ALBERT G. 2009: Bányavágatok térképének előállításának elméleti 3D modell alapján — a centrális hengervetület gyakorlati alkalmazása (in Hungarian, translated title: Preparation of mining tunnel maps on the basis of theoretical 3D model—practical application of the central cylindrical projection). — In: ALBERT G.: Háromdimenziós földtani modellek fejlesztésének és megjelenítésének módszerei térinformatikai szemlélettel. PhD értekezés. (Methods for development and displaying three-dimensional geological models based on a GIS concept. PhD dissertation). — *Manuscript (kézirat)*, ELTE Informatikai Kar, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék Adattára, Magyar Állami Földtani Intézet Könyvtára, pp. 111–119.
- ALBERT G., OROSZ L., GYALOG L. 2006a: Bábaapáti kutatóvágatok földtani-tektonikai dokumentációja (in Hungarian, with English abstract: Geological-tectonic mapping of the Bábaapáti exploration tunnels). — *Abstract. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania), VIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia (8th Mining, Metallurgy and Geology Conference), Sepsiszentgyörgy, 2006. április 6–9.* (Sfantu Gheorghe, 6–9 April, 2006), pp. 14–15.
- ALBERT, G., OROSZ, L., GYALOG, L. 2006b: Cartographic representation of geological information, observed on tunnel walls and fronts. — *Abstract. 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Earth and water (2), Barcelona, pp. 89–91.*
- BALLA Z., CSÁSZÁR G., FÖLDEVÁRI M., GULÁCSI Z., GYALOG L., HORVÁTH I., KAISER M., KIRÁLY E., KOLOSZÁR L., KOROKNAI B., MAGYARI Á., MAROS GY., MARSIL I., MUSITZ B., RÁLISCH E., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., SZÓCS T., TÓTH GY. (MÁFI); BERTA J., CSAPÓ Á., CSURGÓ G., GORJÁNÁCS Z., HÁMOS G., HOGYOR Z., JAKAB A., MOLNOS I., MOSKÓ K., ORSZÁG J., SIMONCSICS G., SZAMOS I., SZEBÉNYI G., SZÜCS I., TURGER Z., VÁRHEGYI A. (Mecsekérc); BENEDEK K., MOLNÁR P., SZEGŐ I., TUNGLI GY. (GOLDER); MADARASI A., MÁRTONNÉ SZALAY E., PRÓNAY ZS., TILDY P. (ELGI); SZONGOTH G. (Geo-Log); GACSÁLYI M. (MBFH); KOVÁCS L. (Kútfej Bt.); MÓNUS P. (GeoRisk); VÁSÁRHELYI B. (Vásárhelyi és Tsa Bt.) 2008: A felszín alatti földtani kutatás zárójelentése (in Hungarian, translated title: Final report of the underground geological exploration). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani, Bányászati és Geofizikai Adattár, T.D. 7926; Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1419; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK–K–082/08.
- BERTA, J. 2010: Tunnel interior design and construction (Térképezési munkák Bábaapátiiban). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009* (this volume [jelen kötet]).
- GYALOG, L., TÖRÖK, P. 2010: Drilling of boreholes in the frame of the underground exploration and their geological logging in the Bábaapáti Site (A felszín alatti kutatás fúrásainak mélyítése és földtani dokumentálása a Bábaapáti-telephelyen). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009* (this volume [jelen kötet]).
- JAKAB A., DEÁK F., KOVÁCS L., MARACSIK Z., MÁTÉ K., NÉMETH L., RÁTKAI O. (Kőmérő Kft.); ANDRÁS E., SZAMOS I., SZEBÉNYI G., TÖRÖK P. (Mecsekérc Zrt.); GYALOG L., BORSODY J., FÜRI J., GULÁCSI Z., KIRÁLY E., MAROS GY., RÁLISCH E., SZABADSNÉ SALLAY E. (MÁFI) 2009: A Bábaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló feltáró vágatai térképezése 1. ütem. Vágatdokumentációs jelentés — „Kishurok” (in Hungarian, translated title: Exploration tunnel interior design of the Bábaapáti National Radioactive Waste Repository; Stage 1. Report on tunnel mapping—“Small Loop”). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc Zrt., Pécs; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK–K–040/09.
- KOVÁCS-PÁLFFY, P., FÖLDEVÁRI, M. 2004: Hydrothermal minerals and phenomena in the Mórággy Granite Formation (Hidrotermális képződmények és jelenségek a Mórággyi Gránit Formációban). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 319–337.
- MAROS GY. 2006: A Mórággyi Gránit szerkezeti fejlődése az ImaGeo magzkennelrel történt fúrásértékelések alapján. PhD doktori értekezés (in Hungarian, translated title: Structural evolution of the Mórággy Granite based on ImaGeo core loggings. PhD dissertation). — *Manuscript (kézirat)*, Miskolci Egyetem, Miskolc; Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1348.
- MAROS, GY., PALOTÁS, K. 2000a: Evaluation of planar features in boreholes Üvegghuta Üh–22 and Üh–23 with CoreDump software (Az üvegghutai Üh–22 és Üh–23 fúrásban észlelt síkszerű jelenségek értékelése CoreDump szoftverrel). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 315–340.
- MAROS, GY., PALOTÁS, K. 2000b: Evaluation of the relative time series of events observed in Boreholes Üh–22 and Üh–23 near Üvegghuta with CoreTime software (Az üvegghutai Üh–22 és Üh–23 fúrásban észlelt események időrendjének értékelése CoreTime szoftverrel). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1999-ről*, pp. 341–352.
- MAROS, GY., PÁSZTOR, SZ. 2001: New and oriented core evaluation method: ImaGeo. — *European Geologists* 12, pp. 40–43.
- MAROS GY., GRÓF GY., GYENIS Á., PÁSZTOR SZ., PALOTÁS K. 2006a: Új módszer a bányatérsegek földtani-tektonikai-vízföldtani dokumentálásában (in Hungarian, with English abstract: A new method in the geologic-tectonic-hydrogeologic documentation of shafts and tunnels). — *Abstract, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania), VIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia (8th Mining, Metallurgy and Geology Conference), Sepsiszentgyörgy, 2006. április 6–9.* (Sfantu Gheorghe, 6–9 April, 2006), p. 253.
- MAROS, GY., GRÓF, GY., GYENIS, Á., PÁSZTOR, SZ., PALOTÁS, K., MUSITZ, B. 2006b: A new method in the geologic-tectonic-hydrogeologic documentation of shafts and tunnels. — *CETeG-GalTec (Central European Tectonic Group – Gallician Tectonic Group) conference Zakopane, April 18–22. Geolines* 20, p. 91.
- MOLNOS I., DEÁK F., JAKAB A., SOMODI G., SZAMOS I., VÁSÁRHELYI B. (Mecsekérc Zrt.), GYALOG L., GULÁCSI Z., MAROS GY., MUSITZ B., KIRÁLY E., OLÁH I., SZEBÉNYI G. (MÁFI) 2007b: Jelentés a Bábaapátiiban mélyített Nyugati-lejtőszakna 600,00–1309,50 és Keleti-lejtőszakna 599,40–1254,10 m-es szakaszán elvégzett földtani-tektonikai, geotechnikai és vízföldtani dokumentálási munkákról (in Hungarian, translated title: Report on the geological-tectonic, geotechnical and hydrogeological mapping executed in the 600.00–1309.50 m section of the Western Incline and the 599.40–1254.10 m section of the Eastern Incline driven in Bábaapáti). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, Tekt. 1381; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK–K–079/07.



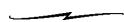
- MOLNOS I., DEÁK F., JAKAB A., SOMODI G., VÁSÁRHELYI B. (Mecsekérc Zrt.), BALLA Z., GYALOG L., GULÁCSI Z., MAROS GY., PALOTÁS K., RÁLISCH E., SZEBÉNYI G. (MÁFI) 2007a: Térképészeti munkák. Jelentés a Bátaapátiban mélyített lejtősaknák 0–600 fm-es szakaszán elvégzett földtani-tektonikai, geotechnikai és vízföldtani dokumentálási munkákról (in Hungarian, translated title: Tunnel Interior Design. Report on the geological-tectonic-geotechnical and hydrogeological mapping executed in the 0–600 m section of the inclines driven in Bátaapáti). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Tekt. 1332/U; Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Paks, RHK–K–075/06A.
- MUSITZ B. 2007: Töréses szerkezetalakulás (in Hungarian, translated title: Fractal tectonic evolution). — In: MOLNOS et al. (2007b), 5.2.3. fejezet (Chapter 5.2.3.), pp. 121–135.
- PALOTÁS K. 2007: Töréses tektonikai jelenségek (in Hungarian, translated title: Fractal tectonic phenomena). — In: MOLNOS et al. (2007a), 5.2.2. fejezet (Chapter 5.2.2.), pp. 122–131.
- SZEBÉNYI G., RÁLISCH E. 2008: Utólagos földtani képződmények és jelenségek a vágatokban (in Hungarian, translated title: Secondary geological features and phenomena in the tunnels). — In: BALLA et al. 2008, 3.8.3.1. fejezet (Chapter 3.8.3.1.), pp. 832–869.
- SZEBÉNYI G., TÖRÖK P., ANDRÁS E., SZAMOS I. (Mecsekérc Zrt.), KOVÁCS L., DEÁK F., JAKAB A., MÁTÉ K., RÁTKAI O. (Kőmérő Kft.) GYALOG L., BORSODY J., FÜRI J., GULÁCSI Z., MAROS GY., RÁLISCH E. (MÁFI), MOLNÁR P. (Golder Zrt.) 2010: A bátaapáti nemzeti radioaktív hulladék-tároló feltáró vágatai térképészete, II. ütem, 1–2. szakasz. Vágatdokumentációs jelentés — „Nagyhurok” (in Hungarian, translated title: Exploration tunnel interior design of the Bátaapáti National Radioactive Waste Repository; Stage II, Section 1–2. Report on tunnel mapping—“Big Loop”). — *Manuscript (kézirat)*, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., Paks, RHK–K–048/10.
- ZILÁHI-SEBESS, L., SZONGOTH, G. 2002: Investigation of granite inhomogeneity with well logging methods. — *Bulletin of the Czech Geological Survey* 77 (2), pp. 127–134.

## A bátaapáti vágatok földtani dokumentálása

GYALOG LÁSZLÓ<sup>1</sup>, FÜRI JUDIT<sup>1</sup>, BORSODY JÁNOS<sup>1</sup>, MAROS GYULA<sup>1</sup>, PÁSZTOR SZILÁRD<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Magyar Állami Földtani Intézet H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

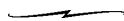
<sup>2</sup> Eötvös Loránd Tudományegyetem, Úrkutató Csoport, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a.



Tárgyszavak: Dél-Dunántúl, gránit, Magyarország, repedéskitöltések, tektonika, törések, Üveghuta, vágattérkép

### Kivonat

A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (Bátaapáti, Üveghuta) felszín alatti kutatása és a beruházás létesítése során a vágatok 5362 m hosszában valamennyi (2546 db) homlok és a hozzá tartozó vágatpalást földtani dokumentálását a MÁFI végezte 2005–2010 között. A helyszíni rajzos és táblázatos dokumentálás részeként ImaGeo fotórobottal a homlokról és palástszakaszáról fotómontázst állítottunk össze. A rajzos földtani képet a fotórobot fotómontázsa fölé a földtani-tektonikai elemek adataival a CoreDump-programnak a vágatdokumentálásra kialakított verziójába vittük be. A dokumentálás rajzos végtermékeként 1:100-as homlok-, 1:100–1:200-as palást- és 1:200-as vágattérképek, illetve a vágatok környezetére 1:1000-es és 1:5000-es földtani térképek készültek.



### Bevezetés

A Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (Bátaapáti, Üveghuta) felszín alatti kutatása és a beruházás létesítése során 2005 februárjában kezdődött a vágathajtás a Bátaapáti térségében levő Nagymórányi-völgyben. Két lejtőszakna (a Keleti lejtőszakna [Mária akna], illetve a Nyugati lejtőszakna [Eszter akna] mélyült 2008 áprilisáig, a 160 m-es felszíni nyitópontoktól a 0 m-es szintig (első ütem). Ezután a következő (második) ütemben, 2008. szeptember – 2009. április között már a 0 m-es szinten két alapvágat mélyült a hozzájuk kapcsolódó összekötő vágatokkal (az ún. „Kishurok”). Végül 2009. június és 2010. május között (a harmadik ütemben) mélyült a létesítendő kamrák megközelítésére az ún. „Nagyhurok”, a Kishurkon belüli kiegészítő vágatokkal, zompokkal (1. ábra). (Külön ábrán mutatjuk be a zompaknak és zompkutak helyzetét a Nyugati zompakna és zompkút példáján [2. ábra]). A vágatok 1–3 m közötti fogáshosszakkal haladtak előre, valamennyi vágathomlok és a hozzá tartozó vágatpalástszakasz földtani-tektonikai

(valamint geotechnikai) dokumentálása megtörtént. A vágathajtási tevékenység irányítását és geodéziai munkáit a Mecsekérc Zrt. végezte. A földtani-tektonikai dokumentálást a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), a geotechnikai dokumentálást az első ütemben a Mecsekérc, a második és harmadik ütemben a Kőmérő Kft. kivitelezte. Az egyes vágatszakaszok jelét, hosszát és a hozzájuk tartozó homlokok számát az 1. táblázat mutatja be.

A vágathajtást vágatonként eltérő számú előfúrás mélyítése előzte meg. A lejtőszaknák (első ütem) esetében egy adott vágatszakaszban előfúrások csak az egyik lejtőszaknában történtek, részletes földtani dokumentálás nélkül. A második és harmadik ütemben, a Kishurok és a Nagyhurok vágatai esetében a vágathajtást részletesen feldolgozott előfúrások előzték meg (GYALOG, TÖRÖK 2010).

A Magyar Állami Földtani Intézet a vágatok folyamatos földtani-tektonikai dokumentálását végezte el a vágatok teljes hosszában. Emellett munkatársai az alapvágatok előfúrásait és a vágatokból kifelé mélyített fúrás többségét is leírták.

1. táblázat. Az egyes vágatszszakaszok jele, hossza és a hozzájuk tartozó homlokok száma

Vágatcsoport			Vágatszszakasz			
neve	hossza (m)	Homlokok száma (db)	neve	jele	hossza (m)	homlokok száma (db)
Lejtősaknák (1. ütem)	3896,3	1870	Keleti lejtősakna	KA	1723,5	842
			Nyugati lejtősakna	NA	1772,5	855
			1-6. összekötő vágat	1-O (1OK), 2-O (2OK), 3-O (3ON-3OK), 4-O (4OK), 5-O (5ON-5OK), 6-O (6OK-6ON)	147,8	60
			1-6. transzformátorkamra	1. tr (1KK), 2. tr (2KK), 3. tr (3KN), 4. tr (8KK), 5. tr (11KK), 6. tr (13KN)	44,8	20
			Potenciálkamra	Pk (4KK)	9,2	4
			Keleti zompvágat, Nyugati zompvágat	Kzsv (5KK), Nzsv (6KN)	71,0	32
			Kőzetfeszültség-kamra	Kfk (7KK)	33,6	17
			HGM-kamra	HGM-k (9KK)	38,4	17
			1-2. vizsgálati kamra	1. vk (10KK), 2. vk (12KK)	55,5	23
Kishurok alapvágatai (2. ütem)	626,7	302	Keleti alapvágat	KAV	260,5	140
			Nyugati alapvágat	NAV	252,4	113
			7-8. összekötő vágat	7-O (7OK-7ON), 8-O (8OK-8ON)	113,8	49
Nagyhurok és vízmentesítő telep vágatai (3. ütem)	839,1	374	Tárolói szállítívágat	TSZV	180,2	78
			Tárolóépítési szállítívágat	TESZV	172,1	71
			Tároló-összekötő vágat (délről, északról)	TOV (TOVD, TOVE)	228,5	98
			Szivattyúkamra, Keleti szivattyúkamra, Nyugati szivattyúkamra	SZK, SZKK, SZKN	84,9	33
			Kompresszorkamra	KOK	11,7	4
			Ellenőrzött zompvágat, Építési zompvágat, Havária-zompvágat	ELZS, EPZS, HZSV	133,9	86
			Keleti zompakna, Keleti zompkút	KZSA, KZSK	13,9	2
			Nyugati zompakna, Nyugati zompkút	NZSA, NZSK	13,9	2
Összesen	5362,1	2546			5362,1	2546

Vágatszszakasz jelénél zárójelben a dokumentálás folyamán használt jelek (KK = kamra a Keleti lejtősaknában, KN = kamra a Nyugati lejtősaknában; OK = összekötő vágat K-ről hajtva, ON = összekötő vágat Ny-ról hajtva); a Nyugati lejtősaknában mélyült 1 m-es vágathatáskamrát (Vhk) nem dokumentáltuk

A dokumentálás eredményeit vágatdokumentálási fázisokként jelentésekben összegeztük (a földtani-tektonikai mellett a geotechnikai és a vízföldtani eredményekkel). Az 5 fázis az alábbi: a lejtősaknák 0–600 m között (MOLNOS 2007a), 600–1300 m között (MOLNOS et al. 2007b), 1300 m-től a lejtősaknák végéig (MOLNOS et al. 2008), a Kishurok (JAKAB et al. 2009) és a Nagyhurok (SZEBÉNYI et al. 2010).

Először a felszín alatti dokumentálás menetét ismer-tjük, majd ennek feldolgozását a MÁFI által kidolgozott CoreDump-programmal (bemutatva a program fejlődését is a dokumentálás során). Röviden jellemezzük a földtani képződményeket, a tektonikai elemeket és a főbb kitöltés-típusokat. Végül a dokumentálás térképvégtermékeit mutat-juk be.

## A dokumentálás menete

A vágatok dokumentálását a vágathajtási technológi-ából következően elsősorban a homlokon (vájvégén), illetve a paláston végeztük. A palást folyamatos, fogásonkénti torkrétbetonzása miatt (amelyből mindig jutott az aktuális homlokra is) csak a betonzás előtt tudtuk a lemosott szakaszokat üde állapotban tanulmányozni, ekkor viszont biztonsági okokból nem lehetett a falhoz menni. A beto-nozás után viszont a palást már nem, és a homlok is csak részlegesen volt látható.

A felszín alatti dokumentálás első részében a vájvég és az aktuális palástszakasz fotózása a biztosított térrész alól történt. Ebben a fázisban készült el a részletes rajz, a távolról (a biztosított térrész alól) történt „légmérésekkel” együtt. A dokumentálás második részében, a biztosítás elkészülte után a homlokon közvetlenül tudtunk észlelni, ekkor készí-

tettük a részletfotó- és leíró dokumentálást. A vājvég biztosítása után a szabadon maradt felületen pontosabb méréseket végeztünk, és szerencsés esetben a veszélyesebb, nehezen megközelíthető töréses övekből is tudtunk mintát gyűjteni. A vāgathajtás során a veszélyes (az egész fogást kitöltő) törészónák esetén a bányamester nem engedélyezte a vājvégen történő dokumentálást. A Nagyhurok hajtása során már csak abban az esetben került sor erre a második „leíró” dokumentációra, ha a kőzetminőség az adott fogásban 4-5-ös kategóriájú (kevésbé állékony) volt (a kőzetminőséget a geotechnikai dokumentálók egy 1-től 5-ig terjedő skálán osztályozták). A felszín alatti dokumentációt a vāgatok bejāratánál lévő felszíni konténerirodákban a digitális feldolgozás követte.

A dokumentálás általunk alkalmazott módszerét és eszközeit a MÁFI szakemberei dolgozták ki (MAROS et al. 2006a, b). A homlok és a hozzá tartozó palástszakasz 28 képből álló fényképalapját a saját fejlesztésű ImaGeo fotórobottal készítettük el (MAROS et al. 2006a, b). Ez az eszköz egy távirányítású, fényképsorozat-készítő és távmérő robot, amelynek segítségével akár egy félgömbfelületet is le lehet képezni tetszőleges számú fényképpel. A felvett képek középpontjainak, valamint programozható számú és helyzetű egyéb pontok távolságát a fotórobotba épített lézeres távmérő segítségével határoztuk meg. (A fotórobot fejlesztésében Gyenis Ákos és Gróf Gyula működött közre.) A vājvég orientálását a paláston és a homlok-palást határon bejelölt és geodéziaiilag meghatározott pontok alapján végeztük el. Ebből a fényképsorozatból a szintén a MÁFI által kifejlesztett CoreDump-szoftver (MAROS, PÁSZTOR 2001) segítségével állítottuk elő a vājvég 3D-s térbeli modelljét, melyből homlok-, palást-, illetve tetszőleges nézetű fotómontázsokat tudunk készíteni. A geodéziai adatokat (homlokonként 6 pont bemérését tartalmazó adatsorok, illetve a vāgatok és a vāgatfúrások valamennyi geodéziai adatát feltüntető, ún. raporttérkép) a Mecsekérc szolgáltatta. Az észleléseket a fotómontázshoz vektorosan rögzített adatbázisba vittük be a fúrások szkenneléséhez kidolgozott CoreDump-program (MAROS, PALOTÁS 2000a, b) vāgatdokumentáláshoz továbbfejlesztett verziója segítségével. A leírás során a vājvégen szerzett tapasztalatainkat és a kőzeteknek a felszíni konténerirodákban történő tanulmányozásából származó adatokat űrlapokon rögzítettük. Ezekben előre megadott mezőkben történt a leírás, amely a kőzetek, illetve a vājvég valamennyi, általunk fontosnak ítélt földtani, illetve tektonikai elemét tartalmazta. Az adatlapok kialakítása során adott mezőkhöz kapcsolódóan is törekedtünk a program által használt szókészletek alkalmazására. Így a létrehozott digitális adatbázist jól lehetett kezelni, táblázatkezelő szoftverrel könnyen be lehetett állítani a szűrőparamétereket. A dokumentáló, részben a biztonság kedvéért, „kézfotót” is készített az első dokumentálás alkalmával a homlokról, a palástszakasról és a fontos részletekről.

A napi kamerális munka részeként készült az adott fogás értelmzetlen (nyers, összeillesztett) és értelmezett homlok- és palástfotója (3. ábra), valamint az 1:200-as vāgatterkép kézi szerkesztésű rajza.

A homlokkép fotómontázsa tartalmazza a szabadon levő palástcsíkot is a betonozott részig. Ezt kiterítve kapjuk meg az adott palástcsík fotómontázsát (4. ábra).

A földtani és a tektonikai adatlapot a helyszínen készült jegyzőkönyv és esetenként a vājvégről felhozott kőzetminták alapján töltöttük ki. Minden homlok minden elkülöníthető (20 cm-t meghaladó méretű) kőzettestének leírása külön adatlapon történt, a fogáson belül saját sorszámmal. A tektonikai elemek egy adatlapra kerültek, számozásuk az adott fogáson belül folyamatos sorszámmal történt, külön megjelölve, hogy az elem csak a homlokon, csak a paláston, vagy mindkettőn látható.

A vāgathajtás kezdetén kialakult dokumentálási rendszer a körülmények változatossága miatt néhány esetben módosult. Az első időszakban a dokumentálás első fázisában készített, kinyomtatott „kézfotóra” rajzoltunk a leíró dokumentáció során. A módszer egyik hátránya, hogy a színes nyomtatványon nagyon rosszul látszott a rajz, főleg a felszín alatti rossz fényviszonyok között, másik, hogy a szintén nem ideális körülmények között ezek a fotók nagyon sérülékenyek voltak.

Nehezen megvalósítható feladatot jelentett, hogy a dokumentálók különböző szemléltetése ellenére lehetőleg egységes dokumentációt hozzunk létre. A váltott műszakban dokumentálók munkáját segítette az első időszak után az egymást követő, kinyomtatott „palástcsíkok” összeillesztése, így a tektonikai és kőzetani jellegzetességek jobban nyomon követhetőek voltak (4. ábra).

Az alapvāgatok dokumentálása során a törészóna jellemző kőzetani felépítését, tektonikai jellegzetességeit, vízföldtani tulajdonságát egy külön törésesöv-adatlapon rögzítettük. Ezen az adatlapon külön részleteztük a zónát felépítő generációk anyagát, mennyiségét (klasztok, mátrix), a szemcsék koptatottságát, osztályozottságát, a kárzóna jellegét, vastagságát, a zónát jellemző irányokat.

A további hasonló feladatok elvégzésekor hasznos tanulságokkal szolgálhat a dokumentálás menetének történeti szemléltető megközelítése is. A 2005-ben kezdődött vāgatdokumentálást természetesen a kor szintjén legmodernebb eszközökkel szándékoztuk végrehajtani. A tervezést Gyalog László (földtan), Maros Gyula (tektonika, hardverek, szoftverek) és Balla Zoltán (projektvezetés) végezte. Különböző dokumentálási körülményekre több különböző dokumentálási módszert dolgoztunk ki egy teljesen digitális és egy teljesen manuális, „kockásfüzetes” módszerrel, mint határ-esetekkel. Homlokra-palástra vetített referenciahálózat, állványokon végzett, kőzetközeli munkavégzés, a fotórobot által készített modellre és montázusra hálózatba kapcsolt „tablet-PC”-ken (ma I-Pad) történő adatrögzítés is szerepelt a legállékonyabb fogások dokumentálási tervében. Ezek közül néhány a gyakorlat során kisselektálódott, mások megvalósultak.

A szelekció okai különbözőek voltak. Első ezek közül a biztonság. A vāgathajtás kezdetén történt kisebb, de váratlan omlások, potyogások következtében — érthető biztonságtechnikai okokból — a biztosítatlan térség palástrésze, bármilyen kicsi is volt, gyakorlatilag megközelíthetlenné

vált. Csak a palást torkrébetonozása után lehetett a homlokon közvetlen méréseket végezni, ahol a betonozás után jóval kevésbé voltak láthatók a földtani és tektonikai elemek. Ezt a kőzetfelszín mosása segítette valamennyire.

A második ok a bányakörülményekben rejlik. Annak ellenére, hogy a gránitos kőzetekben mélyített bányatérsek viszonylag tiszták, a folyamatosan szálló por, a dokumentációs térség nagy sárszennyezettsége, néha több deciméter mélységű tocsogók a vājvégén, a repedésekből csepegő, folydogáló vizek minden elektromosan működő eszköz legfőbb ellenségének bizonyultak. Az erős igénybevétel valamennyi, a bányában alkalmazott eszköz erősen megsínylette, gyakori cserék váltak szükségessé.

A harmadik ok az ún. „bányászati logisztika” (a bányászati munkák szervezése) jelentette. A dokumentációt folyamatos időszükében, más, bányászati munkafázisok elvégzésével párhuzamosan végeztük. A vājvég napról napra messzebb került a dokumentálóktól. Mindezek fényében eredménynek tekintjük, hogy a folyamatos, digitális dokumentációt a vāgathajtás során mindvégig megvalósítottuk.

A dokumentáció módszerét állandóan a kőzetekhez, szerkezeti körülményekhez kellett igazítanunk. A felhasznált hardverek és szoftverek folyamatos fejlesztésén, tesztelésén túl ez azt is jelentette, hogy az észlelt jelenségek körét bővítenünk-szűkíteniünk kellett. Az értelmezések fejlődéséhez kellett fejlesztenünk az észlelési technikát, tökéletesíteniünk az észlelési űrlapokat és adatbázisokat. Ez folyamatos jelenlétet és szakmai visszacsatolást kívánt. A dokumentáló csoport rendszeresen szakmai értekezleteken vitatta meg a tapasztalatokat, és próbálta egységesebbé tenni az egyes dokumentálók szemléletmódját. Ehhez dokumentálási utasítások, közzetani, szerkezetföldtani képes segédletek készültek. Ebben a folyamatban döntő részt vállalt Musitz Balázs, a fúrásos szerkezeti tapasztalatoknak a vāgatdokumentálási módszerekhez történő adaptálásában pedig Palotás Klára. A magmás és metamorf közzetani tudásbázis fejlesztése nagyban köszönhető Koroknai Balásznak, Gulácsi Zoltánnak és Király Editnek. A repedéskitöltések dokumentációját Szebényi Géza és Rálich Erzsébet egységesítette. A hardverek és szoftverek fejlesztéséhez Gulácsi Zoltán, Szebényi Géza és Halász Amadé szolgált értékes ötletekkel, tapasztalatokkal. A dokumentálási munkában a következő kollégák vettek részt: Albert Gáspár, Bíró István, Borsody János, Don György, Forián-Szabó Márton, Fűri Judit, Gulácsi Zoltán, Gyarmati Pál, Halász Amadé, Kemény Botond, Kókai András, Koroknai Balázs, Lantos Zoltán, Magyar Árpád, Majoros Péter, Musitz Balázs, Oláh István, Palotás Klára, Pereg Zsolt, Szebényi Géza és Török Patrik.

### **Mintavétel, vizsgálatok**

A minták gyűjtésénél egyrészt a vāgatok folyamatos (20 méterenkénti) dokumentációs mintázását, másrészt a kőzetváltozatok és repedéskitöltések vizsgálatát végeztük. A

felhozott minták közül az adott témával foglalkozó szakember választotta ki, hogy melyekből készüljön műszeres anyagvizsgálat.

A kőzetminták esetén vékonycsiszolat-leírások (elsősorban a lejtőszaknákból — Király Edit), teljes kémiai és nyomelem- (MÁFI), valamint mikroszonda-vizsgálatok (GKL), a repedéskitöltések esetén csiszolatleírások (Rálich Erzsébet), ásványfázis (röntgen- és termikus analízis, MÁFI) és fluidzárvány-vizsgálatok, valamint Ar–Ar radiometrikus kormeghatározások (Atomki) készültek. Az alapvāgatok vāgatelőfúrásainak anyagából több vizsgálat (közzetani és kitöltéscsiszolat, röntgen- és termikus analízis) is készült.

A mintavétel helyét a kézi rajzon és az értelmezett fotómontázon is feltűntettük. Így a geodéták által készített riporttérkép segítségével — amely koordinátahelyesen, a vāgathajtással egyidejűleg ábrázolja a tervezett és a megvalósult vāgatszakaszokat — a mintavétel helyének koordinátái pontosan meghatározhatóak voltak.

### **A CoreDump-program**

A CoreDump-szoftver eredetileg az ImaGeo mobil magszkenner-rendszer részeként a magfúrásokban előforduló tektonikai jelenségek értelmezésének megkönnyítésére, statisztikai kiértékelésére és relatív térbeli helyzetük dokumentálására készült (MAROS, PÁSZTOR 2001).

Az ImaGeo magszkenner digitálisan, RGB-színfelbontásban rögzíti a maximálisan 100 cm hosszú és 20 cm átmérőjű magszakaszok palástképét. A kapott képek maximálisan 360 DPI felbontásúak, ez századmilliméteres részletességet jelent. E mérési eredményeket a Spektra-programmodullal jeleníthetjük meg, illetve exportálhatjuk ki a statisztikai értékeléshez a képekből. A CoreDump-szoftverrel a fűrómag palástképein rögzíthetjük, és tulajdonságokkal láthatjuk el a szkennelt magszakaszokon megjelenő síkszerű objektumokat, amelyek lehetnek törések, repedések, kitöltések, ásványos elváltozások, foliáció, szöveti irányítottság vagy bármi egyéb (MAROS, PALOTÁS 2000a). A magszakaszokon megjelenő objektumok által jelzett események közötti relatív idősortrendet a CoreTime-szoftverrel elemezhetjük ki (MAROS, PALOTÁS 2000b). A PetCore-modul segítségével a fűrómagok képén szemcseeloszlást, szemcseirányítottságot, illetve felületi porozitást is értékelhetünk (MAROS, PÁSZTOR 2001). A CoreDump-program által relatív koordinátarendszerben rögzített adatokat valós térbeli adatokká konvertálhatjuk. Utóbbi az adott szakasz akusztikus lyukfal-televízió (BHTV) adataihoz szintén a CoreDump-programban történő illesztéssel végezzük el (MAROS, PALOTÁS 2000a, ZILAHÍ-SEBESS, SZONGOTH 2002).

A CoreDump-szoftvert 2005-ben — a vāgatok indulásával egyidejűleg — készítettük fel a fotórobot (MAROS et al. 2006a, b) vāgatképeinek fogadására. Ezek a verziók már egyaránt alkalmasak mind a magszkennelt, mind a fotórobot által készített vāgatbeli fotósorozatok geológiai kiértékelésére. A CoreDump-programon belül a magszkennelt képeken, illetve a vāgatok fotósorozatain jelölt pont- és síkszerű

vagy kiterjedéssel rendelkező objektumokhoz orientációs, numerikus vagy szöveges adatokat fűzhetünk. Az így keletkező vonalmű adatait tetszőlegesen osztályozhatjuk, majd később az adatbázison végzett lekérdezéseket sztereografikus projekciókon, rózsadiagramokon, tadpole-diagramokon (földtani és tektonikai mért síkok dőlésadatainak mélység vagy távolság szerinti ábrázolása), hisztogramokon jeleníthetjük meg. A program segítségével — a térinformatikában általánosan használt — standard dxf-formátumban exportálhatjuk ki az összes képzett pontot, vonalat, síkot, illetve készíthetünk jpg formátumú fényképeket a munkafolyamat során bármikor tetszőleges nézetben és nagyításban, a felrajzolt vonalművel, a ki-be kapcsolható méterráccsal és a feliratokkal, együttesen vagy ezek nélkül.

A CoreDump kezdeti, a vágatban alkalmazott verziói a felvett homlok- és palástfotókat külön jelenítették meg, továbbá a képek illesztése manuális volt, ami sok időt és energiát emésztett fel. A későbbiekben gyakorlatilag minden évben fejlesztettük a programot, és lehetőség szerint a fotórobotot is. Ezt a munkát — a dokumentálók egyéni igényeit is figyelembe véve — Maros Gyula irányítása alatt a legnagyobb részben Gróf Gyula és Gyenis Ákos végezte. A képeket a program már kezdetektől a fotórobotból kinyert adatok segítségével pozícionálta a relatív koordinátarendszerű térben, a vájvégalak meghatározását azonban csak félig automatikusan végezte, a kezelőnek két paraméter beállításán keresztül volt lehetősége azt a valóságnak leginkább megfelelővé alakítani. A képillesztéshez szükséges pontokat a felhasználónak azonban itt még kézzel, egyenként, a szoftver segítségével kellett felvinniük a digitális fotókra. Ekkor még teljes egészében a felhasználó döntötte el, hogy mely képeket és hogyan mozdítson el a program segítségével. Ez a folyamat nagy koncentrációt igénylő és bizonyos esetekben akár több órás munkafázis volt. Már a korai verziókban is volt lehetőség az ún. georeferenciapontok adatainak megadására azzal a céllal, hogy a dokumentált fogást a valós térben is el lehessen helyezni, de az ezekkel végzett számítások, a 3D megjelenítés hiánya miatt, nem ellenőrizhető eredményre vezettek. Így ezeket csak az adatbázisban tároltuk. A georeferenciapontok a homlok és a palást határát, a palást kitüntetett pontjait, illetve a lényegesebb fúrások helyét jelölik, és a geodéták által bemért EOV koordinátákkal rendelkeznek.

A CoreDump-program további, 2009. évi fejlesztése során elsődleges szempont a 3D-s megjelenítés elérése volt, másodlagos célként pedig a dokumentálók terhelésének csökkentését és a rövidebb feldolgozási időt tűztük ki. E célokat részben a program egyszerűsítésével, részben pedig a munkafolyamatok automatizálásával értük el.

Ez az egyszerűnek tűnő feladat igen sok nehézséget okozott, ugyanis mindezt úgy kellett megoldanunk, hogy közben lehetőséget adjunk az emberi beavatkozásra az egyes munkafolyamatokban, illetve ne zárjuk ki a későbbi fejlesztések lehetőségét sem. Az előbbi azért lényeges, mert a program több esetben is nagyon sok paraméterrel dolgozik, és ilyenkor nem minden esetben választ ideálisan a

rendelkezésre álló lehetőségek közül, az utóbbi pedig azért fontos, hogy a későbbiekben felmerülő igények kielégítésére is találhassunk módot.

A fenti célkitűzéseink megvalósításához a program elemeit és funkcióit részben újragondoltuk. Ennek során megváltoztattuk a 28 darabos fényképalap beimportálásának menetét és részben a vájvég 3D-s poligonvázának készítési folyamatát is. Közel megtripláztuk a távolságméréssel rendelkező pontok számát, 72-re. Automatizáltuk a képillesztést is oly módon, hogy szükség esetén az illesztési pontok, illetve később az illesztési módszerek kiválasztásával a végeredményt befolyásolni lehessen. A meglévő paneleken belül az egyes funkciók gombjait esetenként más helyre tettük, ezzel is segítve a jobb áttekinthetőséget. Próbáltuk minél inkább felhasználóbaráttá tenni a szoftvert.

Az új CoreDump-verzióban a geodéziai koordinátákkal rendelkező pontok adatainak beolvasása automatikus. Ennek az eredménye rögtön megtekinthető és körbeforgatható egy külön felnyitható kis ablakban. A program itt egyszerűre 3D-ben jeleníti meg a georeferenciapontok helyét, a pontok látszólagos helyét a vájvég poligonvázán, valamint az égtájakat. Így gyorsan és egyszerűen kimutathatók és ellenőrizhetőek a tektonikai és a geodéziai mérések esetleges hibái, illetve az adatkeveredések.

Szintén újdonság, hogy a CoreDump a 28 alapfotóból előállított kompozit vájvégképet a vájvég 3D-s háromszögmodelljére feszíti. A programmal a vájvégről tetszőleges nézetű kivágatot hozhatunk létre, és a palást kiterített felületi képét is megjeleníthetjük (4. ábra).

Az ilyen tetszőleges nézetek összeállítása időigényes folyamat, mert a képeket a képillesztéskor meghatározott térbeli adatokkal kell a programnak a vájvégmodellre rávetítenie. Ezt az időt spórolhatjuk meg azzal, hogy az elkészült nézeti képeinket elmentjük.

Újdonság, hogy a homlok- és palástképek elmentése után kirajzoltathatunk egy EOV-koordinátarendszerhez illesztett 3D-s nézetablakot, amelyben az adott fogásunkat az egér vagy a billentyűzet segítségével körbejárhatjuk. Itt az objektumok, a homlok és a palást fényképei külön-külön ki- és bekapcsolhatók. A program lehetőséget ad arra, hogy bármely rajzi elemet — pl. berajzolt törést — kiválasszuk, illetve megjelenítsük a sík lefutása alapján számolt dőlésirányt és dőlésszöveget. Ha ezt az értéket nem találjuk helyesnek, megadhatjuk azt az értéket is a programnak, amit a dokumentáló a vájvégen mért. Ekkor egy halványabb metszetet is felrajzol a program, amely a dokumentáló által megadott értéknek felel meg. Ezzel nagyon könnyen kiszűrhetők az esetleges mérési hibák.

A programmal 3D-ben jeleníthetjük meg — akár több fogáson keresztül — a fogás környezetében lévő homlok- és palástképeket, így az ábrázolt objektumok térbeli helyzete jobban átláthatóvá, érthetővé válik (5. ábra). A 3D-s vájvégen megjelenő objektumokhoz rendelt síkokat térben láthatjuk, szerkeszthetjük, illetve körbeforgathatjuk. Ez kiegészítve azzal, hogy az adott fogásunk környezetében más fogások rögzített objektumait is láthatóvá tehetjük vagy akár szerkeszthetjük is, jó korrelációs lehetőséget ad a

fogások objektumai között, egyben előrevetíti a következő fogásban megjelenő objektumok várható helyét, illetve irányát.

A palástképet a program — a térképi megjelenéshez jobban igazodó — felülnézeti vetületben jeleníti meg. Ez úgy valósítható meg, hogy az eredetileg belülről fényképezett vágat képét egy téglalap alakú síkfelületre vetíti, majd ezt a képen látható vágatirány hossz tengelyére tükrözi, mintha a palástképet kívülről, felülről nézve, a főte tengelyére kiterítve látnánk.

### Földtani képződmények

A közettípusok dokumentálására használt adatlapon a vizsgált kőzet alapadatait (dokumentálási adatok, kőzettest neve), valamint fő jellemzőit (helyzete, mérete, kontaktusai, színe, szemcsemérete, ásványos összetétele, az ásványok jellemzői, a kőzet metamorf bélyegei) adtuk meg.

A vágatok szinte kizárólag a *Mórágyi Gránit Formáció* különböző közettípusaiban haladtak (porfir és ritkaporfir monzogranit, kontaminált monzogranit, kontaminált monzonit, monzonit). A nyitóponttól az első 600 m-es szakaszon az első torlasztó zónáig (az ún. Klára-törésig) porfir monzogranit volt az uralkodó kőzettípus. Ezután porfir és ritkaporfir monzogranit váltakozása következett monzonitlencsékkel kb. 1050–1150 m-ig. Innen a kontaminált monzonit vált uralkodóvá, monzonit és kontaminált monzogranittekkel 1500–1570 m-ig. A lejtőszakna utolsó szakaszán a kontaminált monzogranit és kontaminált monzonit váltakozása volt a jellemző, egy nagyobb mikrogranittesttel. A Kis- és Nagyhurok területén a ritkaporfir monzogranit az uralkodó az ÉK–DNy-i irányú Patrik-törésig, ettől D felé ismét kontaminált monzogranit és kontaminált monzonit váltakozása jellemző. A Nagyhurok ÉNy-i sarkában a lejtőszakna utolsó szakaszában harántolt kontaminált monzogranit – kontaminált monzonit-szakasz DNy-i folytatása látható.

A Mórágyi Gránitban gyakoriak a néhány cm-estől a néhány dm-es vastagságot elérő kőzetlelérek, elsősorban az aplitok. Ezek a telérek egyes szakaszokon feldúsulnak, a vágat anyagának akár 10%-át is adják. Ilyen telérdúsulást észleltünk a lejtőszaknák 1400–1600 m-énél és a Nagyhurok ÉNy-i sarkában is. Arányuk egyes vágatokon az 50%-ot is eléri (pl. a Tároló-összekötő vágat, TOVE005\_13,5 fogásban).

A Mórágy Gránitot a kréta *Rozsdásserpenyői Alkálibazalt Formáció* néhány telére szeli át. Ilyen teléreket a Nyugati lejtőszakna 50–60. m-énél (ÉK–DNy-i irányval), a lejtőszaknák 80–150. m-ében (ÉK–DNy-i irányval), 580–640. m körül (K–Ny-i irányval), illetve a lejtőszaknák végénél és a Nagyhurok ÉNy-i sarkában (ÉK–DNy-i irányval) harántoltak a vágatok. Ez utóbbi volt a legnagyobb, ezt már az Üh–27 fúrásban észleltük, mindkét lejtőszakna, a Tárolói szállító- és a Tároló-összekötő vágat is harántolta. (E telér mentén jelentős vízbeáramlások voltak a vágatokban.)

### Tektonikai elemek

A tektonikai adatlapon a mért adatokon kívül (dőlésirány, vetőkarc szöge), leírtuk az adott objektum geometriáját, a repedéskitöltés jellemzőit, a vízmegjelenés jellegét, mértékét, az elmozdulás típusát. A tektonikai elemek között tüntettük fel a vonalas földtani képződményeket (pl. mafikus zárványok, apliterek és -telérek), amelyek a korai szerkezetalakulás nyomait őrzik, valamint a plasztikus deformációt jelző paláságot, illetve milonitosodást, milonitot.

Nyílt és zárt töréseket különböztettünk meg, ezeknek elsősorban vízföldtani szempontból volt jelentőségük. Akkor tekintettük nyíltnak a törést, ha vizesedést vagy drúzás karbonátos kitöltést, illetve limonitosodást észleltünk a törés mentén.

A nagy vastagságú, vízvezető törések lefutása a betonozás után is jól megfigyelhető, mivel mészkiválás és cseppkőképződés kíséri (1–2. fénykép). A vágatban mélyített előfúrások és szondafúrások kútvizsgálatai alapján már a vágathajtás előtt megtörtént az erősen vízáradó szakaszok injektálása, így a dokumentálás folyamán a jelentős vízáradó zónák már kevésbé voltak megfigyelhetőek. A töréseket jelentőségük alapján három csoportra osztottuk. A fontos töréseket 200-asnak, a kevésbé fontosakat 100-asnak neveztük, utalva arra, hogy az ábrázolandó objektum milyen méretarányú (1:200-as vagy 1:100-as) térképen jelenik meg. A 200-as és 100-as törések dőlésirányát a dokumentálás során rögzítettük. A mért érték nélküli, azonban az általános töréskép megismerését segítő, kevésbé jelentős töréseket szagatott vonallal jelöltük a homlokrajzon. Amennyiben egy töréses zóna vastagsága meghaladta a 10 cm-t, megállapodás szerint töréses övnek neveztük.

A kutatás korábbi fázisaiban több fő törésirányt különítettünk el (MAROS et al. 2003). Ennek nyomán a Mecsek-alja-övvvel párhuzamos, ÉK–DNy-i csapású törések csoportjára a „csapásirányú”, míg az erre az irányra közel merőleges, ÉNy–DK-i csapásiránytól az ÉÉNy–DDK-i csapásirányig terjedőkre a „haránt irányú” megnevezést használtuk. Ezekon kívül jelentős a K–Ny-i (NyÉNy–KDK-i) és az É–D-i csapású törések csoportja is.

A vágatok által harántolt nagyobb törésrendszerek közül egyesek a környezetüktől jelentősen eltérő torlasztó, illetve vízvezető hatással rendelkeztek. A torlasztó övek jellemzően K–Ny-i csapásirányúak. Ezek közül a lejtőszaknák 540–590 m-nél a Klára-törést, illetve 1450–1500 m-nél a Péter-törést harántolták, igazolva torlasztó jellegüket. A vízvezető törések leggyakrabban ÉK–DNy-i lefutásúak. Ezek közül a legjelentősebb a Kishurok két alapvágata és a Tároló-összekötő vágat által harántolt törésnyaláb, a Patrik-törés.

### Kitöltések

A repedéskitöltő anyagok vizsgálatának a vízföldtani szempontok miatt kiemelt jelentőséget tulajdonítottunk. A vágathajtás során szembevető tapasztalat a leukokrata

(földpátdús) kőzetdifferenciátumok (leukokrata monzogránitok és aplitok) kiemelkedően rideg viselkedése, emiatt töredezettsége és — valószínűleg ezzel kapcsolatosan — esetenkénti igen jó vízáteresztő képessége (SZEBÉNYI, RÁLISCH 2008). A kloritos vagy agyagásványos, egyszerű repedéskitöltések legtöbbször szárazak, az egyszerű, egygenerációs karbonátkitöltések is ritkán adnak vizet, de minél változékonyabb a kitöltés összetétele, minél többször szakadt fel, nyílt ki, töltődött ki újra, annál nagyobb a valószínűsége, hogy a törési sík egyes helyein jó vezető-képességű erek alakulhattak ki. Az agyagtartalom a vízesedés ellen hat, a karbonáttartalom a vízesedésre hajlamosítja a töréses öveket (JAKAB et al. 2009).

A vágatokban a legelterjedtebb repedéskitöltés az agyagásvány, a karbonát, a klorit és a laza vas-oxid-hidroxid kiválás, kevésbé gyakoriak az epidoterek, kvarcerek és kvarctelések. Járulékos ásványokként az erekben előfordult pirit, prehnit és fluorit. Nem jellemző, hogy tisztán, csak egy ásványfajta töltson ki egy repedést, egy-egy szakaszon túlsúlyba kerülhet valamelyik kitöltő anyag, de akár egy törésen belül is, kis távolság alatt is változhatott a kitöltés jellege. A többszöri felnyílás következtében gyakran bonyolult belső felépítés alakult ki. A 3. fényképen egy többszörös felnyílással keletkezett kitöltés látszik, amelyben egy korábbi kitöltésből származó karbonátklaszt és több granitoid-darab „úszik” a karbonátos mátrixban.

Az agyagásványok a töréses övekben uralkodó mennyiségben fordulnak elő, leggyakoribb a montmorillonit, az illit és a paligorszkit. Az utóbbi Mg-ban dús oldatokból válhatott ki (KOVÁCS-PÁLFY, FÖLDVÁRI 2004). A repedéskitöltések közül a kloriterek előfordulása látszólag az egyik leggyakoribb a vágatokban. A klorit a dokumentálás során egy ásványcsoport gyűjtőneve, lehet más ásvány, pl. zöld-fekete csillám is. Feltételezhető, hogy a vágatokban a csoport több tagja is előfordul, mivel vizuálisan is több árnyalatát el lehetett különíteni. A klorit vastagsága változatos, a lehetővékony hártától a több centiméteres méretig terjedhet. A klorit nemcsak repedéskitöltő ásványként jelenik meg, hanem a mellékkőzetben is, mivel a színeselegyrészek hidrotermális bontásának egyik terméke. Gyakran figyelhető meg szalagos-sávós, szimmetrikus karbonátos repedéskitöltés, amely a különböző felnyílások során megváltozott körülményeket jelzi. A dokumentálás során a leírók megkülönböztettek fehér (kalcit, esetleg dolomit), rózsaszín (kalcit, rodokrozit), barna (sziderit, ankerit), világoszöld és krémszínű változatot. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy ezek terepi megnevezések, a változatok műszeres vizsgálata egyelőre nem történt meg. A kvarcerek néhány esetben tömzösen fordulnak elő aplitban, ilyenkor rendszerint az aplittest belsejében helyezkednek el, és nagyon gyakran monomineralikus, nagykristályos, pegmatoid jellegűek. A kvarc egy része a befogadó kőzetek ásványos összetevőiből származik, törmelékeny elegyrészként került a kitöltést eredményező oldatokba (KOVÁCS-PÁLFY, FÖLDVÁRI 2004), egy része pedig az intruzív breccsák laza mátrixának hidrotermális átítatódásaként jelenik meg. Az epidot mint másodlagos ásvány, illetve kőzetalkotó

akcesszória is jelentkezik, de hasadékkitöltésként szintén találkozhatunk vele. Az epidoterek jellemzően leukokrata slírekkel kontaminált monzogránitban és kontaminált monzogránitban, illetve apliterek mentén jelennek meg (4. fénykép), azonban kisebb, a tektonikai adatbázisban nem szereplő törésekben is előfordulhatnak. Az epidot és a kloritásványok színe között lévő árnyalatnyi különbség megítélését nehezítik a felvételezés során a változó nedvességi és megvilágítási viszonyok is.

A vágathajtás legutolsó szakaszában több helyen előfordult fluorit, amelynek zöld, ibolya és színtelen változatát is megtaláltuk (5. fénykép).

## Térképek

A rajzos dokumentációk a dokumentált homloktól több lépcsőben vezetnek el a környezet földtani térképéig. A dokumentálás során látható vájvéget a homloktérkép mutatja be. A palásttérkép már nem egy látható szakaszt mutat be, hanem az egységes kép a fogások 1–3 m-es palástszakasaiból áll össze 25, illetve 50 m-es szakaszonként. Az 1:200-as vágattérkép a vágatok teljes hosszában mutatja be egy képzeletbeli síkban (a vágat 2 m-es magasságában) a földtani képet. Az 1:1000-es vágattérkép már a vágatok közötti teret és azok környezetét is bemutatja. Végül az 1:5000-es térkép a tágabb földtani környezetben helyezi el a vágatdokumentálás során kapott földtani eredményeket.

### Homloktérkép

Valamennyi vágathomlokról 1:100-as földtani térképet készítettünk, fényképalappal és földtani kiértékeléssel (6. ábra). A fényképalap a CoreDump-programmal készített fotómontázs. A térképen külön kivágaton látszik az adott homlok pontos helye a vágatban, ezenkívül a geodéziailag (a Mecsekérc által) bemért georeferenciapontok helyét és mért adatait is feltüntettük, valamint megjelöltük az előfúrások helyét is a homlokon.

### Palásttérkép

A palástokról a lejtősaknák mélyítéskor 25 m-es szakaszokban 1:100-as, az alapvágatoknál 50 m-es szakaszokban 1:200-as palásttérképet állítottunk elő. Ennek módszerét Albert Gáspár dolgozta ki (ALBERT et al. 2006a, b), és az egyes szakaszok szoftveres előkészítését és ellenőrzését is ő végezte. A palásttérkép alapanyaga a CoreDump-pal előállított, a fogás palástjáról készült fotómontázs. A térkép-szerkesztéshez az AutoCad Map 3D-programot használtuk. A fotómontázs beillesztése a bemért georeferenciapontok alapján történt az Autodesk Raster Design-szoftver alkalmazásával. A palásttérképek centrális hengervetülettel, a valós felület egyenletlenségeit idealizálva, a talp ábrázolása nélkül készültek, ennek modelljét ALBERT (2009) dolgozta ki. A térképek vágatokhoz viszonyított koordinátarendszert követnek, amelyben a vízszintes tengely a vágatok hossz-



tengelyének felel meg, metrikus beosztású, és az origó az adott vágat kezdőpontja. A vágat fala és mennyezete a vágat tetején húzódó, a vágat tengelyével párhuzamos síkra van kivetítve, mintha felülnézetben kihajtogattuk volna oly módon, hogy a bal oldalfal mindig a térkép felső szegélyén, a főte mindig középen és a jobb oldali fal mindig a térkép-szelvények alsó szegélyén található (a vágathajtás a térképen jobbra halad). A palástcsíkokat koordinátahelyesen összeillesztve végeztük el a rajzos kiértékelést (7. ábra), majd ebből készült a tisztázati földtani palásttérkép (8. ábra). Utóbbinak egy részletét a jelek láthatósága érdekében a 9. ábrán mutatjuk be.

### *1:200-as vágattérkép*

Elkészítettük a vágatok és környezetük különböző méretarányú földtani térképeit is (10. ábra). Alapdokumentációként a vágatok 1:200-as földtani térképe készült el (a vágatok 2 m-es magasságában). A kézi szerkesztésű 1:200-as térkép folyamatos korrigálásra szorult a digitalizálás során, mivel a rajzolás idején még nem állt rendelkezésre valós kitérésű szelvény.

A tektonikai elemeket már a 200-as térképen a lejtőszaknak, illetve az alapvágatok között korreláltuk. Megismertük a vágatokban a töréses övek területenként változó, jellegzetes irányait, kitérésait, ezek jellegzetességeit, a jellegzetes torlasztó-szigetelő zónákat. Az első szakasz (a lejtőszaknak első 600 m-e) tisztázati térképét Palotás Klára, a továbbiakét Fűri Judit készítette.

### *1:1000-es vágattérkép*

A vágatok mentén, azoktól mindkét irányban a kiegészítő fúrási adatoktól függően mintegy 80–150 m-es távolságig kiterjesztett területről 1:1000-es földtani térkép készült a vágatok 2 m-es síkjában. Elsőként csak a 3. dokumentálási fázis szakaszáról készült ilyen, 1:1000-es térkép (MAROS 2008), ezt később a vágatok teljes hosszára kiterjesztettük.

Ezen a térképen a töréses öveket, a fontosabb töréseket, valamint a különböző kőzetváltozatokat, teléreket próbáltuk korrelálni a vágatok között. Ebben a feladatban nehézséget okozott, hogy a töréseket kísérő átalakulások, illetve a törések kitérése kis szakaszon belül is igen jelentős eltérést mutatott. A nagyobb zónáknál, az elmozdulás mértékének megítélését nehezítette, hogy a feltárás a vágatra korlátozódott. A Kis- és Nagyhurok térképét a 11. ábra, egy részletét a 12. ábra mutatja be.

További fontos információt jelentettek a vágatfúrások szolgáltatott adatok, bár a részletek a fúrásokban jobban megfigyelhetők, a léptékbeli különbségből kisebb eltérések adódtak a vágatdokumentációhoz képest. Ilyenre egy

példa: a Tárolói szállítóvágat végén (a vágat ÉNy-i részén) a vágatban kontaminált monzonitban leukokrata sílerek látszóttak. Ezeket a BeR-7 előfúrás vagy nem érintette, vagy a sílert hosszában harántolta, és így ezt a szakaszt a fúrásdokumentációban monzogránitos összetételűnek definiáltuk. A vágatokban, a fúrásokkal ellentétben, az irányítottság is mérhető (az előfúrásokban nem volt magszkenelés, így ennek hiányában az irányok sem voltak mérhetőek). Az elmozdulás jellegének meghatározását az is nehezítette, hogy a törések többszöri felújulása következtében a régebbi vetőkarcirányok felülíródtak, előfordult, hogy egy törési síkon három különböző irány is látszott. A magmakeveredés során kialakult kőzetek jellege egy fogáson belül is igen változatos, illetve a különböző kőzettípusok között folyamatos átmenet is kialakulhat, így helyenként nehézséget okozott egy-egy kőzettest lehatárolása.

### *A 0 m-es szint 1:5000-es térképe az alapvágatok térségében*

A vágatok tágabb térségének földtani-tektonikai képét 1:5000-es térképen csak az alapvágatok térségében, a 0 m Bf szintben mutattuk be (13. ábra). Ez része lett a terület tágabb körzetét függőleges szelvényeken és 50 m-enkénti vízszintes metszeteken bemutató sorozatnak is (BALLA 2010a).

A térképen jól kirajzolódnak az uralkodóan ÉK–DNy-i irányban megnyúlt szerkezetek, amelyekben a dőlések változása alapján redőket is feltételeztünk (MAROS 2006, BALLA 2010b).

A tektonikai elemek közül csak a legjelentősebb töréses övek kerültek fel a térképre. A leggyakoribb, legnagyobb törészónák közel párhuzamosak a fenti szerkezetekkel, emellett ÉNy(NyÉNy)–DK(KDK)-i szerkezetek jelentősek, de É–D-i elemek is előfordulnak. A K–Ny-i csapásirányú torlasztó öveket az 1: 5000-es térképen eltérő színnel és külön névvel jelöltük.

## **Összefoglalás**

A vágatok földtani-tektonikai dokumentálása során új technikai lehetőségek kihasználásával új elemekkel kibővített dokumentálási rendszert dolgoztunk ki. Ez a módszer a helyszínen a fotórobot használatával, illetve a feldolgozás során a CoreDump-szoftver használatával nagymennyiségű földtani és tektonikai adat kezelését tette lehetővé. A végeredményként előállított homlok- és palásttérképek a vágatok térségének részletes dokumentálási termékei. A szerkesztett térképek a távolabbi környezetre is kiterjesztve mutatják be a terület földtani és tektonikai képét.

## Examination of EDZ by Geophysical Measurements (Bátaapáti, South Transdanubia, Hungary)

ZSOLT PRÓNAY, ENDRE TÖRÖS, PÉTER TILDY

Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary, H-1145 Budapest Kolumbusz u. 17–23.



**Key words:** blasting, crystalline rocks, dielectric constant, direct wave amplitude, electrical conductivity, fracturing, geotechnics, GPR reflections, shaft

### Abstract

Geophysical measurements were carried out in the inclines for examination of residual deformations which resulted from stress redistribution caused by the excavation of tunnels. The measurements on the wall and in shallow boreholes were performed at weeks after excavation and one year later at the same locations and parameters. The thickness of zone at such dimensions of tunnel can be expected as 2-3 m in homogeneous material by the literature.

The task is not easy because inhomogeneities in naturally inhomogeneous material (rock–inhomogeneous anisotropic discontinuous material, EGERER 1977) have to be searched for. Methodological problem has resulted from the several day lag caused by drilling and other examinations: at the time of measurement the significant parts of changing have proceeded so the original state of surroundings is not known.

Among the methods tested (acoustic, radar and geoelectric resistivity tomography) the radar measurements have given the best results. By the examination of amplitude and phase of different wave types on the borehole radar sections the physical changes of the surroundings of tunnel can be mapped. Surprisingly cracks were evolved and/or diminished at distances up to 10 metres from the tunnel wall showing the wide extension of EDZ.



### Introduction

As a part of the underground research of low- and intermediate-level radioactive waste disposal site in Bátaapáti geophysical measurements were carried out after the excavation immediately and one year later for determination of extension of the EDZ evolved in the granite.

The results of the measurements performed in the boreholes (borehole radar, acoustic transmission and seismic tomography) and on the wall (radar, acoustic and DC geoelectric) based on identical physical principles are supported each other at the interpretation stage.

### Definition of EDZ

There are mechanical changes in the vicinity of the tunnels during and after the excavation because the changes

of stresses caused by the workings. The effect is decreasing with increasing distance from the tunnels. Much of the changes are performed within a limited time, about 2.5 months (SUZUKI et al. 2004).

The Cluster 2003 standards were used for nomenclature in this paper. Two basic zones around the tunnels can be distinguished by this. The zone of irreversible changes is named as EDZ (Excavation Damaged Zone) while the zone of reversible changes is named as EdZ (Excavation disturbed Zone). The HdZ (Hydraulic disturbed Zone) signs the zone of perturbed hydraulic parameters; extension is between EDZ and EdZ. The BIDS (Blast-Induced Damaged Zone) is a part of the EDZ because of the irreversible changes of surrounding rock caused by the blasting (SAIANG 2008). The cracks induced by blasts start from the wall while fractures caused by the stress changes locates some distance far (Figure 1).

For the planning of geometry of measurements the extension of zones has to be estimated. By the material of

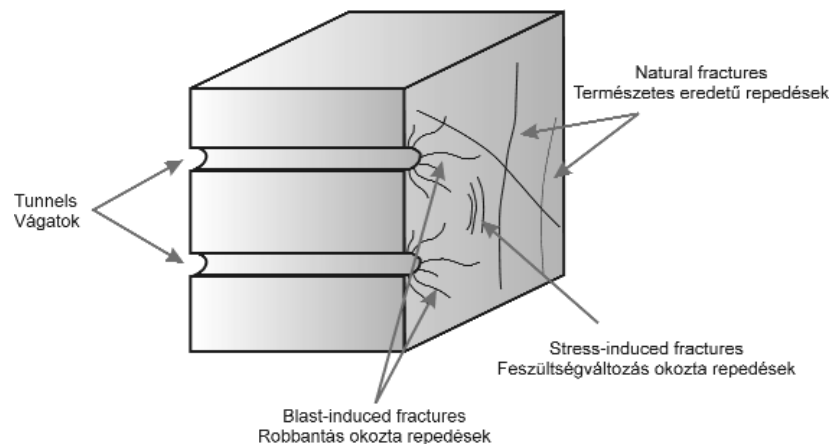


Figure 1. Surroundings of the tunnel (principal sketch)

1. ábra. A vágat környezete (elvi vázlat)

Cluster can be calculated with permeability changes within a narrow from 0.1 to 0.75 m scale in hard crystalline rock. Stress change can be expressed in 2–3 m around a tunnel with diameter of 5 m. These values are typical in homogeneous materials only—the zone can grow in cracked rocks. The dimensions of EDZ are very anisotropic, downward are generally larger (TSANG et al. 2005).

### Strategy of Measurements

The measurements were planned to examine of the near (<2 m) and the far (2–10 m) zone up to the depth of boreholes based on the information about the thickness of EDZ. By the physical limitation of methods the different depths can be examined with different resolution.

The measurements of borehole radar have given very good, while the measurements on the wall (radar, acoustic and tomography) have given good results. On the other hand there was a strict constraint for the applicability of acoustic methods. The causes of it were that the larger cracks and the boundary between the shotcrete and the rock are obstacles for propagation of high frequency mechanical waves, so there were no suitable results between some transmitter-receiver pairs. The electrical measurements on the wall map the changing of the water content usefully.

The ground-penetrating radar (GPR) method has proven itself to be the most usable obtaining valuable information about the rock, therefore that one is described in details hereafter.

### GPR Measurements on the Wall

The signal emitted by transmitter of the GPR instrument hit the receiver on different direct and reflected ways. The wave reflects from interfaces. The registered signal is digitised and stored in the memory of the computer. A GPR section was got by repeating this process by constant step in a

direction. The parameters of the wave propagation (travel time, amplitude)—according to the Maxwell theory—are governed by the dielectric constant and the conductivity of the medium.

The measurements were planned for two frequencies (225 MHz and 1 GHz) which mean two different penetration depths. In contradiction with the general expectations and literature (ANNAN 2001) the penetration of lower frequency have not been increased but their resolution became very poor so only 1 GHz measurement data were used for interpretation. Between the two measurements the thickness of shotcrete becomes thicker and on the wall pipes, cables, boxes were mounted causing the alteration of radar records significantly.

During the measurements the antennas were mounted on a working machine (Figure 2). Seven 50 m-long horizontal

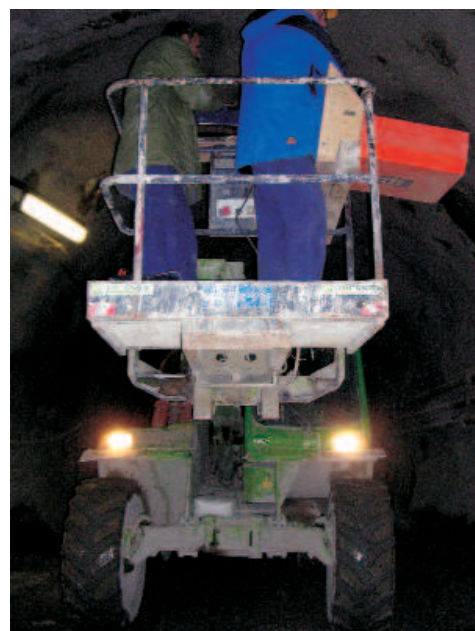


Figure 2. GPR measurement in the tunnel

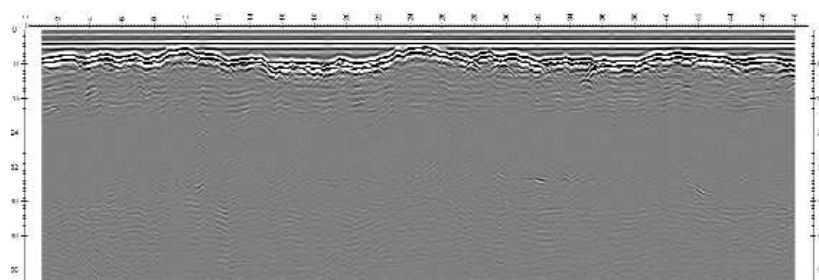
2. ábra. Radarmérés a vágatban

lines nearly equally spaced on the perimeter of tunnel have been measured. The length of radar lines were limited by the miners' objects and the inspection of the bottom line was hopeless because the very inhomogeneous fillings.

The main task during the processing was to amplify the reflections of larger times. The applied method emphasises the near-horizontal events, because of the directivity characteristics of GPR antennas.

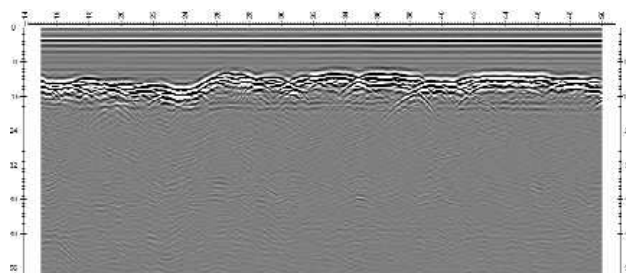
As an example afterwards several typical differences are shown that have been arisen between the two measurements (Figures 3–6). The first strong signal front after the horizontal direct wave is the reflection coming from the wall. After comparing one can recognise that on the second stage measurement (at upward 45° angles directed antennas on the left side of the Western Incline) a strong reflection (5.7–8.2 ns) emerges on the whole length of the section (Figures 3 and 4). The intensifying and widening of diffractions (for example at 34.5 m and between 38 and 41 m) refer to the increasing of the originally existing cracks. New surface elements evolved on later sections which can be followed about down to 1 m thickness. Another example can be seen in Figures 5 and 6 (measured at the high of 3 m on the left side of the Western Incline), where a new reflection emerged behind the wall at 14–45 cm distance which is also continuous, but not horizontal. The reflection on the earlier section became weaker due to the energy loss reflected from the new surface. At the depth of 1.2 m an apparently continuous signal can be seen which goes to small wave packets at a closer look. The diffractions became stronger in this case, too. There are similar processes and phenomena on the other places—the changes in the Eastern Incline are shown on the Figure 7 on an axonometric representation.

The sections measured in the Eastern and Western Inclines are significantly different—that are illustrated on Figure 8 where all of the measurements are drawn together. The Western Incline can be separated into three zones as going outwards from the wall. The first 20–30 cm thick zone appearing almost on each of slices characterised by numerous



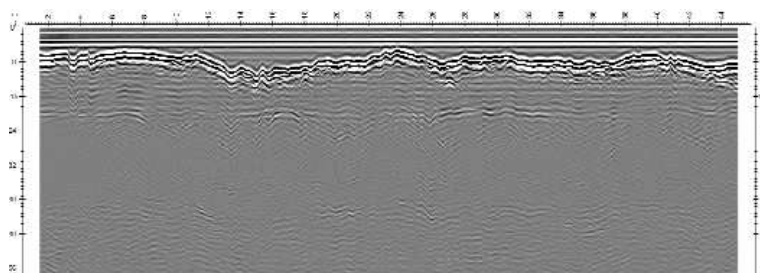
**Figure 3.** Processed radar section, Western Incline, base measurement, height 3 m, direction east 45°

**3. ábra.** Feldolgozott radarszelvény, Nyugati lejtősakna, iránya K 45°, 3 m magasságban, alapmérés



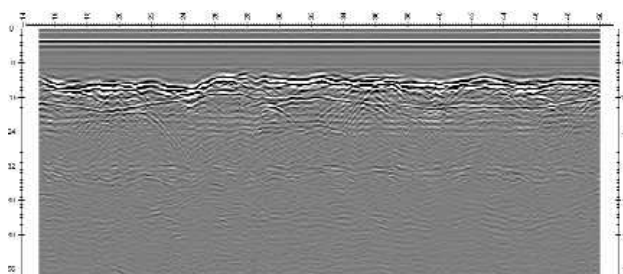
**Figure 4.** Processed radar section, Western Incline, repeated measurement, height 3 m, direction east 45°

**4. ábra.** Feldolgozott radarszelvény, Nyugati lejtősakna, iránya K 45°, 3 m magasságban, ismétlődő mérés



**Figure 5.** Processed radar section, Western Incline, direction east, base measurement, height 3 m

**5. ábra.** Feldolgozott radarszelvény, Nyugati lejtősakna, iránya K, 3 m magasságban, alapmérés



**Figure 6.** Processed radar section, Western Incline, direction east, base measurement, height 3 m

**6. ábra.** Feldolgozott radarszelvény, Nyugati lejtősakna, iránya K, 3 m magasságban, ismétlődő mérés

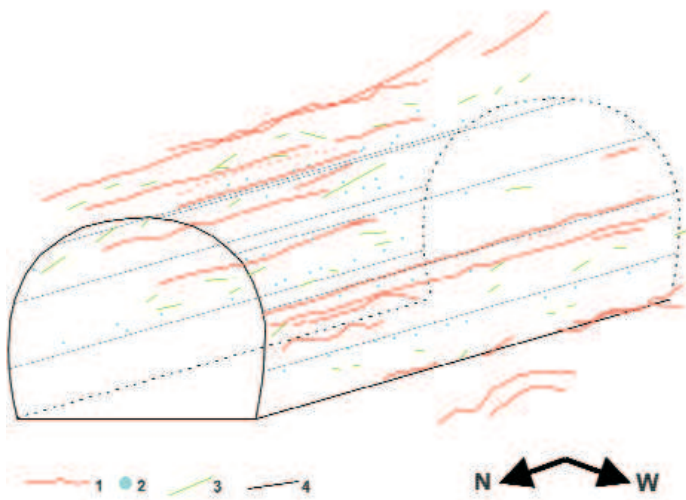


Figure 7. Characteristic radar reflections measured on the wall of the Eastern Incline and their positions in space

1—continuous reflection, 2—diffraction, 3—reflecting surface element, 4—mean plane of the tunnel wall

7. ábra. A Keleti lejtőszaknában a falon mért szelvényeken észlelt jellemző radarreflexiók és ezek vázlatos térbeli helyzete

1—folyamatos reflexió, 2—diffrakció, 3—reflektáló felületetem, 4—vágatfal átlagos síkja

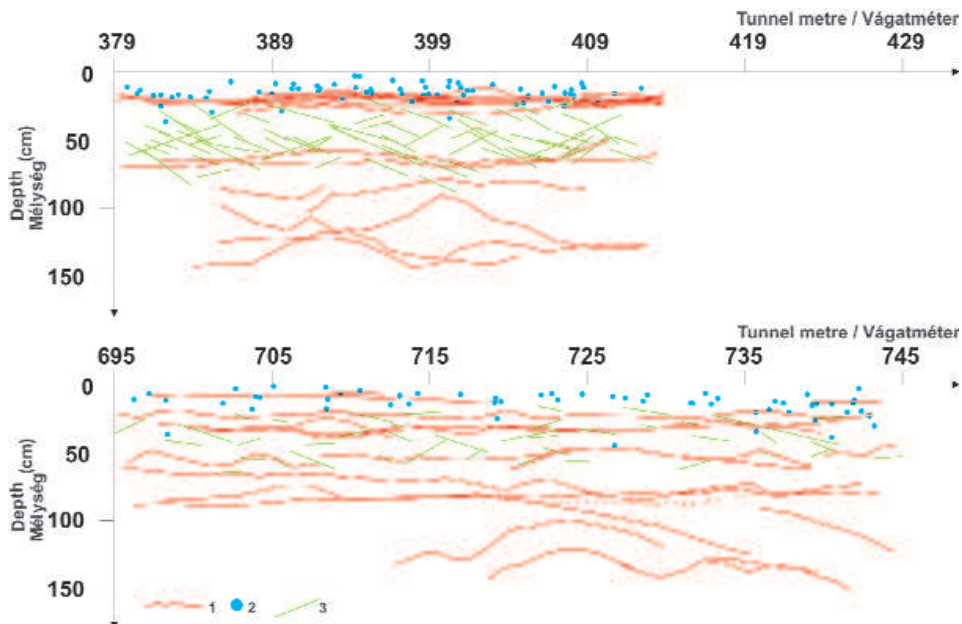
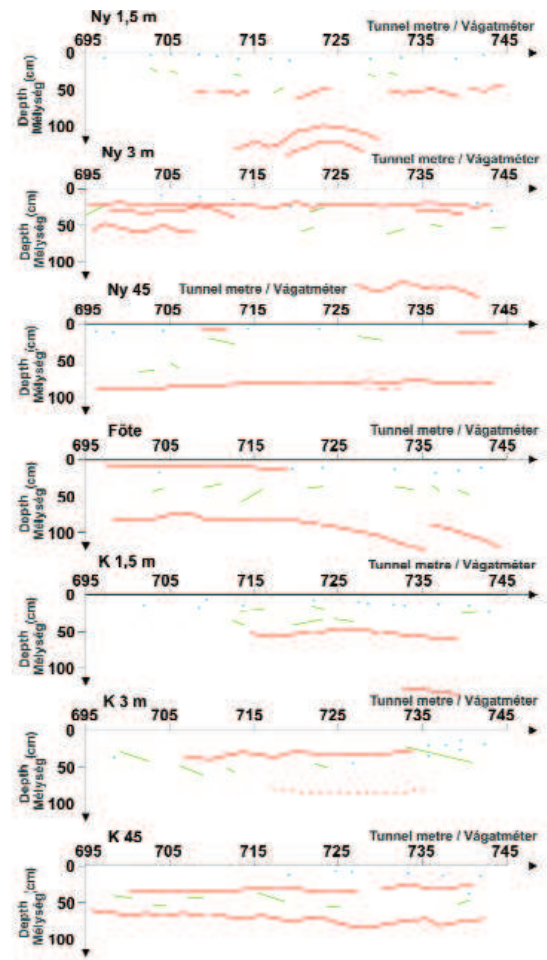


Figure 8. Radar reflections measured on the walls of shafts—overlapping illustration

Top = Western Incline, bottom = Eastern Incline; 1—continuous reflection, 2—diffraction, 3—reflecting surface element

8. ábra. A vágatfalon mért szelvényeken észlelt jellemző radarreflexiók egymásra rajzolva

Fent a Nyugati, lent a Keleti lejtőszakna eredményei láthatók; 1—folyamatos reflexió, 2—diffrakció, 3—reflektáló felületetem

diffractions, the main part of them are in this stripe. In this volume artificial objects (from later working) and rock mechanical origin phenomena mix significantly—their separation is not possible using the radar sections only. The next zone is 50–70 cm thick with short reflecting elements. Overlapping this second zone up to 150 cm there is a space characterised by long (1–10 m) reflections but because of the limitations of the penetration depth the method cannot be define the border of it.

The Eastern Incline has more diverse image—its zone structure is not as clear as the western one, the categories overlap each other in space. Compared to the Western Incline the density of little reflecting and/or diffracting elements is smaller. Adhering to the categories the thicknesses are first zone 10–40 cm, second zone 20–70 cm as the border of the furthest one's is the penetration depth too.

After the last measurement another application of GPR was performed at Onkalo (radioactive waste disposal site at Olkiluoto, Finland) in similar geologic surround, with similar results. (SILVAST, WILJANEN 2008).

### Borehole Measurements

The principles are similar in case of on-wall and borehole GPR measurements, the main difference is the in-probe

settlement of the transmitter and receiver antennas with fix offset of the latter one.

Different type of waves can be observed on a registration (Figure 9):

- Direct wave front spreading across the filling media (air or water) of the borehole.
- Direct wave spreading across the neighbour rock.
- Reflected wave from interfaces (fractures).
- Diffracted waves.

Direct waves spread directly from the transmitter to the receiver, travelling the shortest distance. Direct ground (or rock) waves carry information about the structure, as direct air (or water) waves can be considered as noise. Diffractions arise from a point-wise object (i.e. the dimensions of the object are much more less, then the dominant wavelength).

Borehole measurements were carried out at all member of the borehole sets Bf–(11–18) and Bf–(21–28) at the 417.5 m of the Western Incline and 717.5 m Eastern Incline respectively with the same parameters on two temporal phases one year amongst them to compare the changes, with two opposite direction at each borehole. The layout of the boreholes can be seen on Figure 10. On the second stage the Borehole Bf–18 at the bottom of the tunnel folded up, so the measurement—and the comparison—have not been possible to carry out.

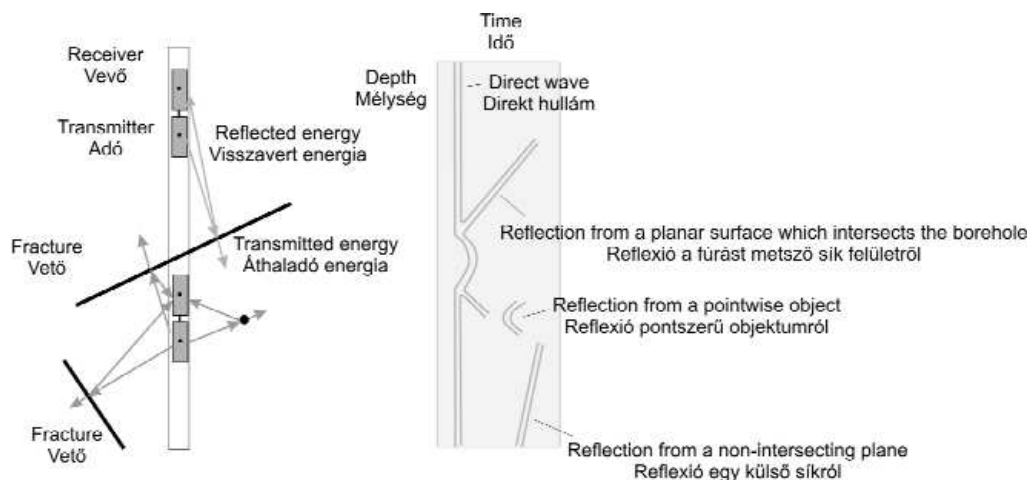


Figure 9. Principle of borehole radar and its wave types

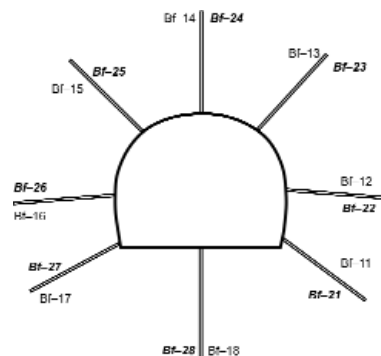
9. ábra. A lyukradarmérés elve és a mért hullámtípusok

Figure 10. Locations of EDZ boreholes on the tunnels

Normal letters = members of the borehole set of the Western Incline (417.5 m), bold italic = members of the borehole set of the Eastern Incline (717.5 m)

10. ábra. A fúrások elhelyezkedése a vágatban

Normál betűtípus = a Nyugati lejtősaknában (417,5 m), dőlt félkövér = a Keleti lejtősaknában (717,5 m) mélyített fúrások csoportjai



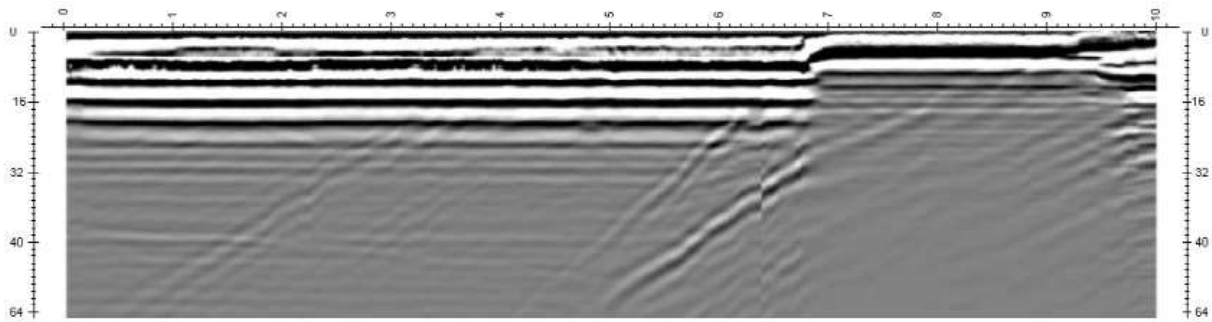


Figure 11. Raw GPR section of Borehole Bf-11, base measurement, direction: up  
11. ábra. Nyers lyukradarszelvény a Bf-11 fúrásban, alapmérés, irány: fel

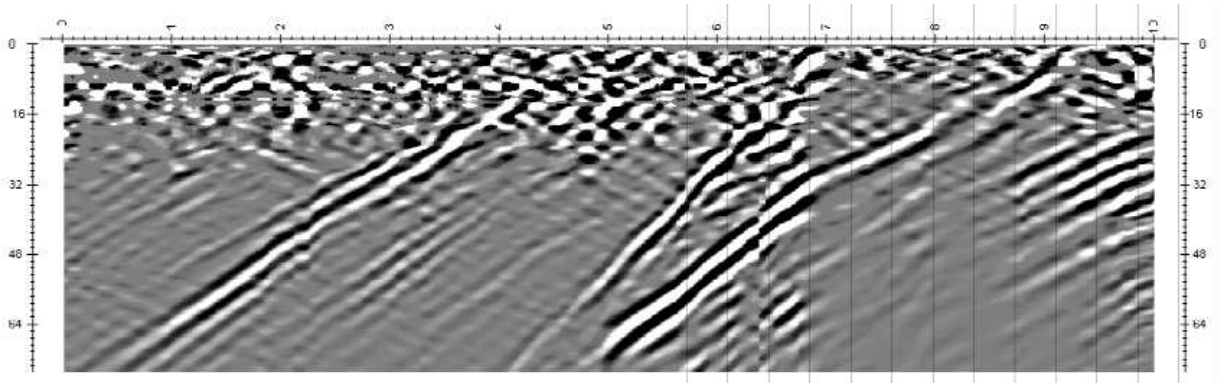


Figure 12. Processed GPR section of Borehole Bf-11, base measurement, direction: up  
12. ábra. Feldolgozott lyukradarszelvény a Bf-11 fúrásban, alapmérés, irány: fel

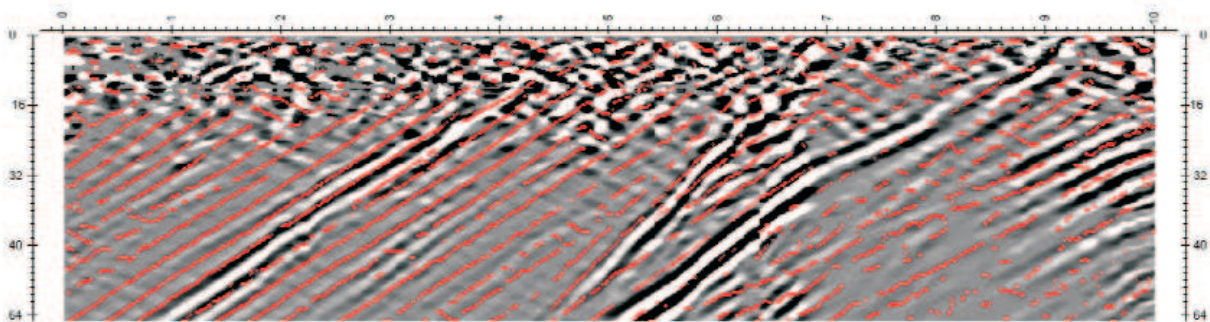


Figure 13. GPR section of Borehole Bf-11, base measurement, with the skeleton of repeated measurement (red), direction: up  
13. ábra. Az alapmérés lyukradarszelvénye a Bf-11 fúrásban, rajta pirossal az ismétlődő mérés csontváza, irány: fel

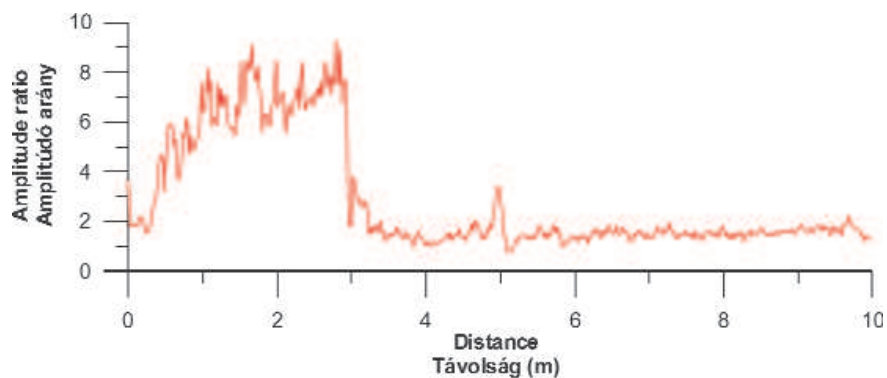


Figure 14. Direct wave amplitude ratio of the base and repeated sections of Borehole Bf-11  
14. ábra. A két mérőszorozat direkthullám-amplitúdóaránya a Bf-11 fúrásban

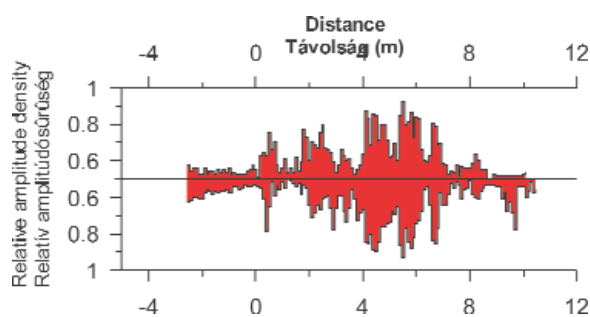


Figure 15. Histogram of relative reflection densities of Borehole Bf-11 (up and down directions)

15. ábra. Relatív reflexióűrűség-hisztogramok két irányban a Bf-11 fúrásban (irány: fel és le)

One of the registered sections from the 60 is show non Figure 11. The result of data processing and some derived underneath detailed parameters can be seen on Figures 12–15.

### Analysis of Direct Wave Amplitudes

Purposeful processing was applied to emphasise the noticeable temporal changes of the sections. As a first stage the direct wave amplitude were analysed. The amplitude of the direct ground (rock) wave is determined by the attenuation i.e. the electric resistivity of the medium, so the amplitude changes can be considered as a transformation of a resistivity distribution. The amplitude ratios of the original and of the repeated measurements characterise the changes of the physical properties of the rock. As a first step a time window was applied to separate the direct air/water and ground waves on row records. The separation by the above mentioned process is not perfect but as the same method was applied for all sections the result is a close estimation of the amplitude ratio changes. The ratio was calculated by the average of the separated amplitudes of the measured directions to characterise unambiguously the surrounding of the borehole, and it was used for interpretation. The section of the first measurement step of Borehole Bf-11 (upward antenna direction) can be seen on Figure 11. The amplitude ratios of the same borehole are shown on Figure 14.

The changing of the ratios can be originated from the changing of the electric resistivity (i.e. the water content) of the rock and/or increasing of number of cracks. At the latter case the reflections from the interfaces of the cracks between the transmitter and receiver cannot be identified because of the resolution limit, but the energy decreases caused by them can be recognised. The more micro cracks mean the more attenuation of the radar wave.

The two causes of decreasing of amplitudes i.e. the increasing of the interfaces and the decreasing of electric resistivity cannot be separated, and nor the results of borehole geophysical measurements can help the interpretation because latter ones were performed only in a part of the boreholes immediately after the drilling. After all every changes above the noise level were interpreted like the effect of EDZ changing. The amplitude ratios were illustrated graphically, and fitted them to the borehole geometry. As an example the amplitude ratios calculated from the results of the borehole set measured in the Western Incline are shown in Figure 16. The figure does not show that the some of the boreholes strongly deviate from the plane. The EDZ extension is shown a little bit arbitrarily by blue dashed lines. The dimensions of the extension are between 2.5 and 5 m, and these are extended to downward direction.

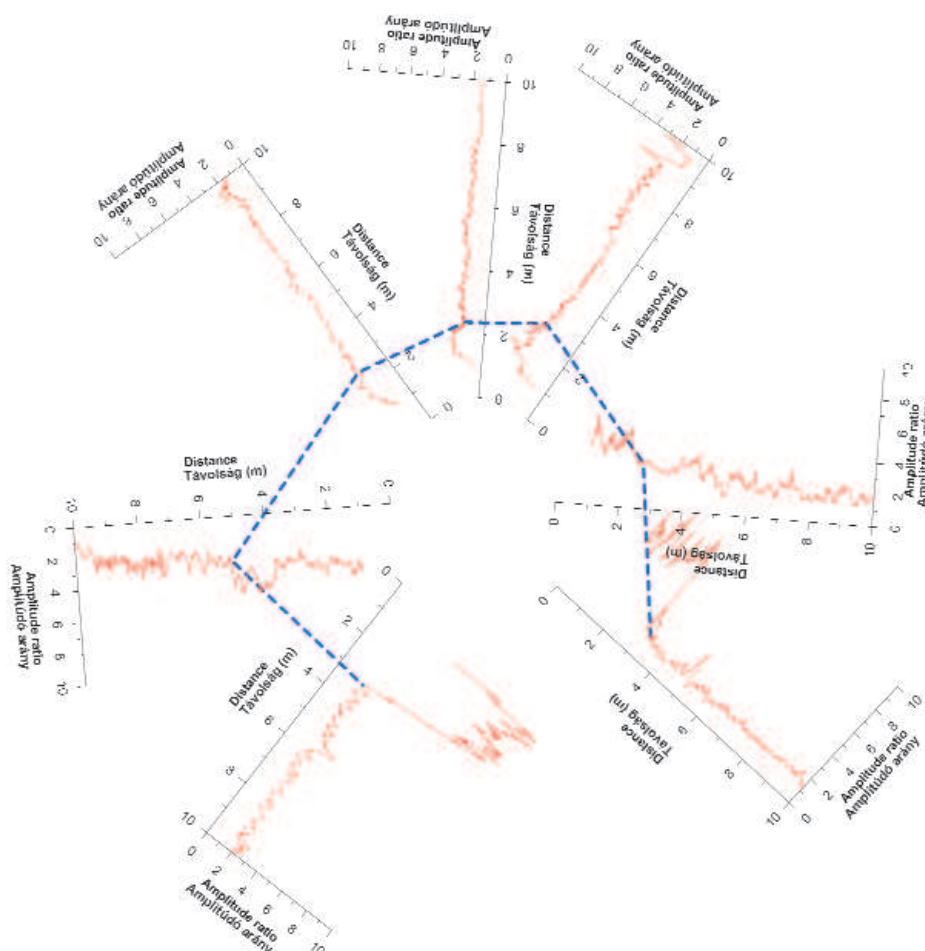


Figure 16. EDZ at the Western Incline assigned by the direct wave amplitude ratio  
16. ábra. EDZ-zóna radaramplitúdó-arány alapján a Nyugati lejtősáknában



### Analysis of Reflections

The study of reflections was made on the processed sections. The processing was restricted to the removal of the direct waves to prevent of arise any filter noise. Reflections can also be visible on the raw sections (for example on Figure 11 on 4.3 and 7.1 m distance), but on the processed ones their quantity exceeds the expected (Figure 12). These signals originate from inhomogeneities characterised by larger than 3 cm dimensions taking into account the resolution of the method.

Because of the large number of reflections the sections were simplified applying image processing procedure. As a first step the contour of wave-fronts was composed. After that it is necessary to reduce the pair-like appearing of contours because the up- and downward zero crosses are also assigned by the former step (Figure 13, red lines). This operation is analogous to the “skeletonising” adjusted to the characteristics of GPR sections. The resulted skeletons of the second measurement can be fitted to the first one (Figure 13), making them easier to compare. The process can cause loss of some weak reflections, but the advantage of comparability overcomes this drawback.

A new parameter, the relative reflection density of a 10 cm distance step can be derived from the skeleton sections

(Figure 15). The values of the relative reflection density show the ratio of pixels constituting reflections to all of them within a distance (i.e. depth) section. At any depth this value is also a function of the apparent direction of the reflections beside the reflection density, so the maximal value was taken into consideration. Generally the reflections were rather dip (the apparent “inclination angles” determined by the time section dimensions are between 30 and 40°), therefore the reflection density section reach beyond the top and bottom of the borehole. The relative reflection density increase with the increasing length and number of reflections cut the borehole. The parameters around the Western Incline are shown on Figure 17. A relatively close zone around the tunnel with 2-3 m thickness is assigned with blue line on the Figure. The line was drawn at the depth as long as the densities decrease as a trend from the maximum value of the top of the borehole. This behaviour is in accordance with the expectations of characteristics of EDZ as the influences of mechanical changes decrease moving away from the tunnel. The tracing of the boundary is really ambiguous near the top of the tunnel, because of the low value of the parameter near the starting (open) point. However there are some intervals with much higher reflection ratio values at deeper parts of some boreholes assigned with green lines in the Figure. There are

two possible explanations for these phenomena: the time lapse between the excavation and the measurement was enough to complete most of the mechanical processes of the rock or the effect of these processes is weaker then the existing inhomogenities around the tunnel. As a technical conclusion it can be said, that it would be essential to perform the GPR measurement as soon as possible after the excavation. Contrarily, at the Eastern Incline the highest values of the reflection density appear near to the walls of tunnels. Besides in this incline the other zone also can be identified at about 6 m from the wall with relative maximum values of reflection density similarity to the western one.

The processed sections were also analysed and the conclusion is contrary with the expectations—the reflections of the repeated measurements often become weaker or downright disappear. Such phenomena can be seen on Figures 18 and 19 where the reflection detected at the first measurement between 5 and 6.5 m

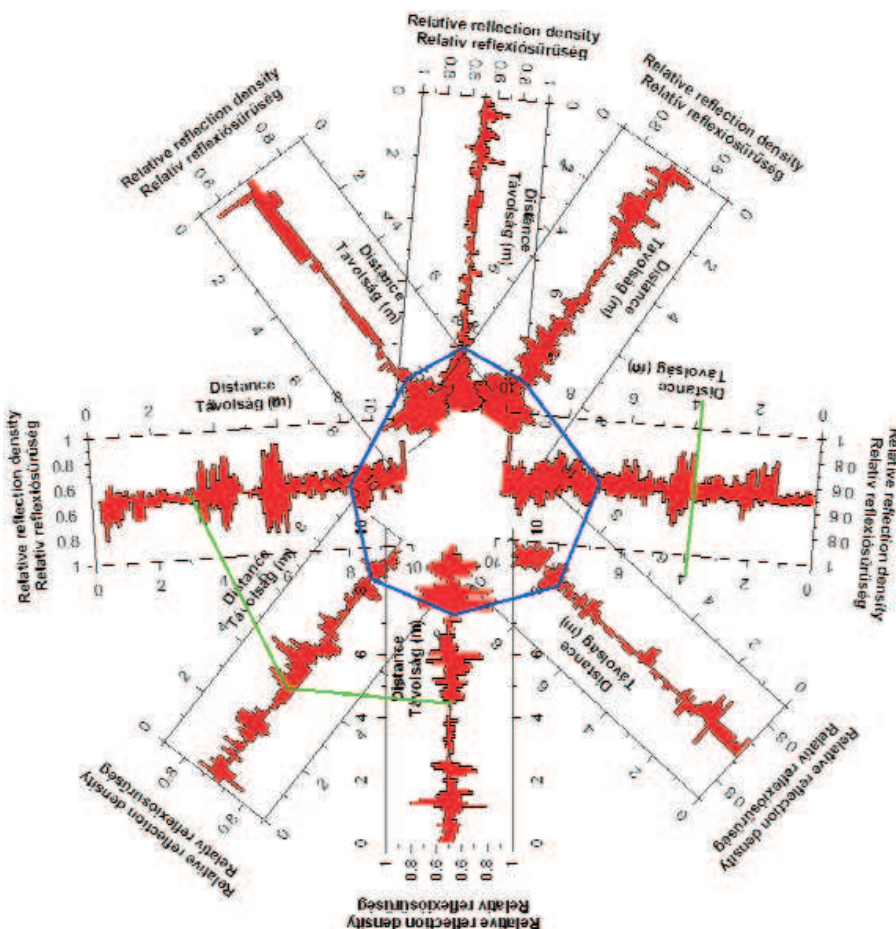


Figure 17. Different zones at Western Incline assigned by the relative reflection density  
17. ábra. Zónák a Nyugati lejtősáknában a relatív reflexiószűrűség alapján

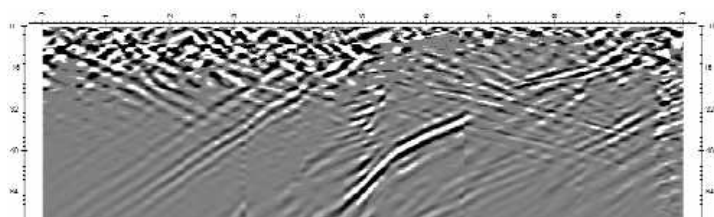


Figure 18. Processed GPR section of Borehole Bf-12, base measurement, direction: up

18. ábra. Feldolgozott lyukradar szelvény a Bf-12 fúrásban, alapmérés, irány: fel

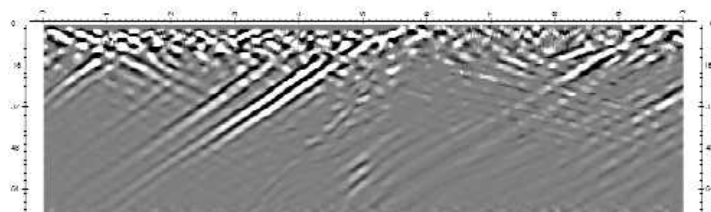


Figure 19. Processed GPR section of Borehole Bf-11, repeated measurement, direction: up

19. ábra. Feldolgozott lyukradar szelvény a Bf-11 fúrásban, ismétlődő mérés, irány: fel

and 35 and 50 ns (Borehole Bf-12 upward measurement) has been disappeared on the section of the repeated one. However a new reflection can be identified at the latter one

but it was the only borehole with such feature. At the end it has to be emphasised, that first, the little changes were not depicted, and the method itself also has some strict

resolution constraints, so it is probable, that little cracks can appear even at larger distance.

## The Results of GPR Measurements

The results which can be distilled by different principles from the radar measurements were summarised on Figures 21 and 22. An inner well separated zone is outlined by dark blue colour by the tendentially decreasing part of relative density of reflections on each borehole set. The thickness of it is 1-2.5 m, and it can continue on the wall measurements, too. This phenomenon shows little vertical asymmetry and can be identified as the classical EDZ. On the figures the maxima of relative reflection density (broken green lines) cannot be connected to the changes in the shaft—they probably show the natural inhomogenities of the crystalline rocks.

There is an outer zone, which is drawn by the furthestmost place of the appearance/disappearance or at least the change of character of borehole radar reflections. The Boreholes

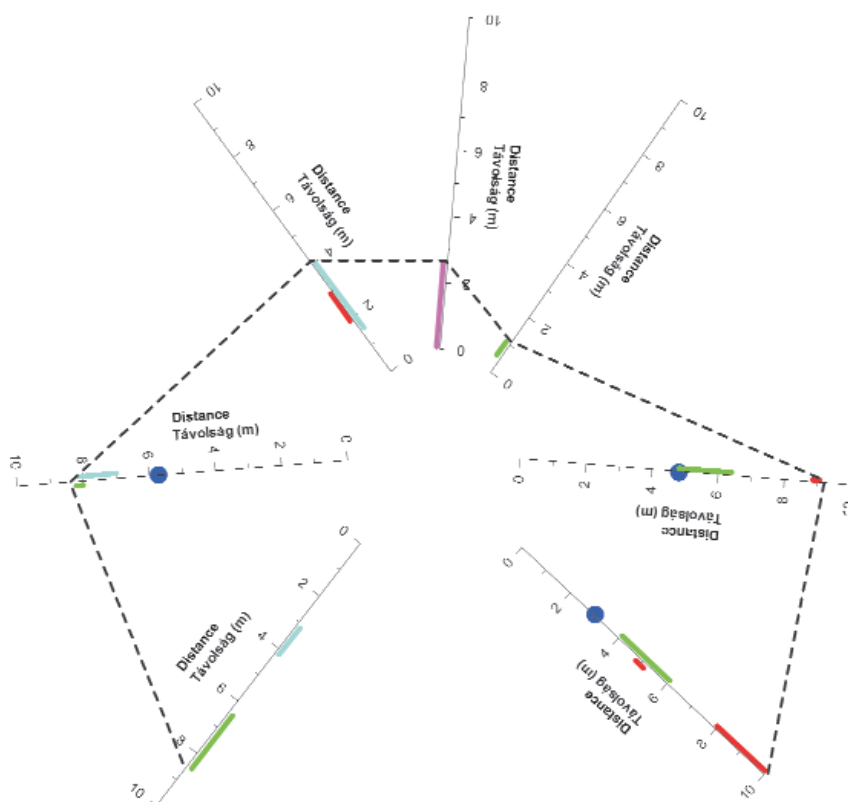


Figure 20. EDZ at the Western Incline assigned by borehole reflections

Blue = equalisation of velocity, green = reflection gain, red = new reflection, violet = velocity decrease, light blue = reflection decay, dashed black line = the furthestmost changes

20. ábra. EDZ-zóna a lyukradar reflexiók alapján a Nyugati lejtőszaknában

Kék = sebesség-kiegyenlítés, zöld = reflexióerősítés, piros = új reflexió, lila = sebességcsökkenés, világoskék = reflexióelhálás, fekete szaggatott = legtávolabbi változás

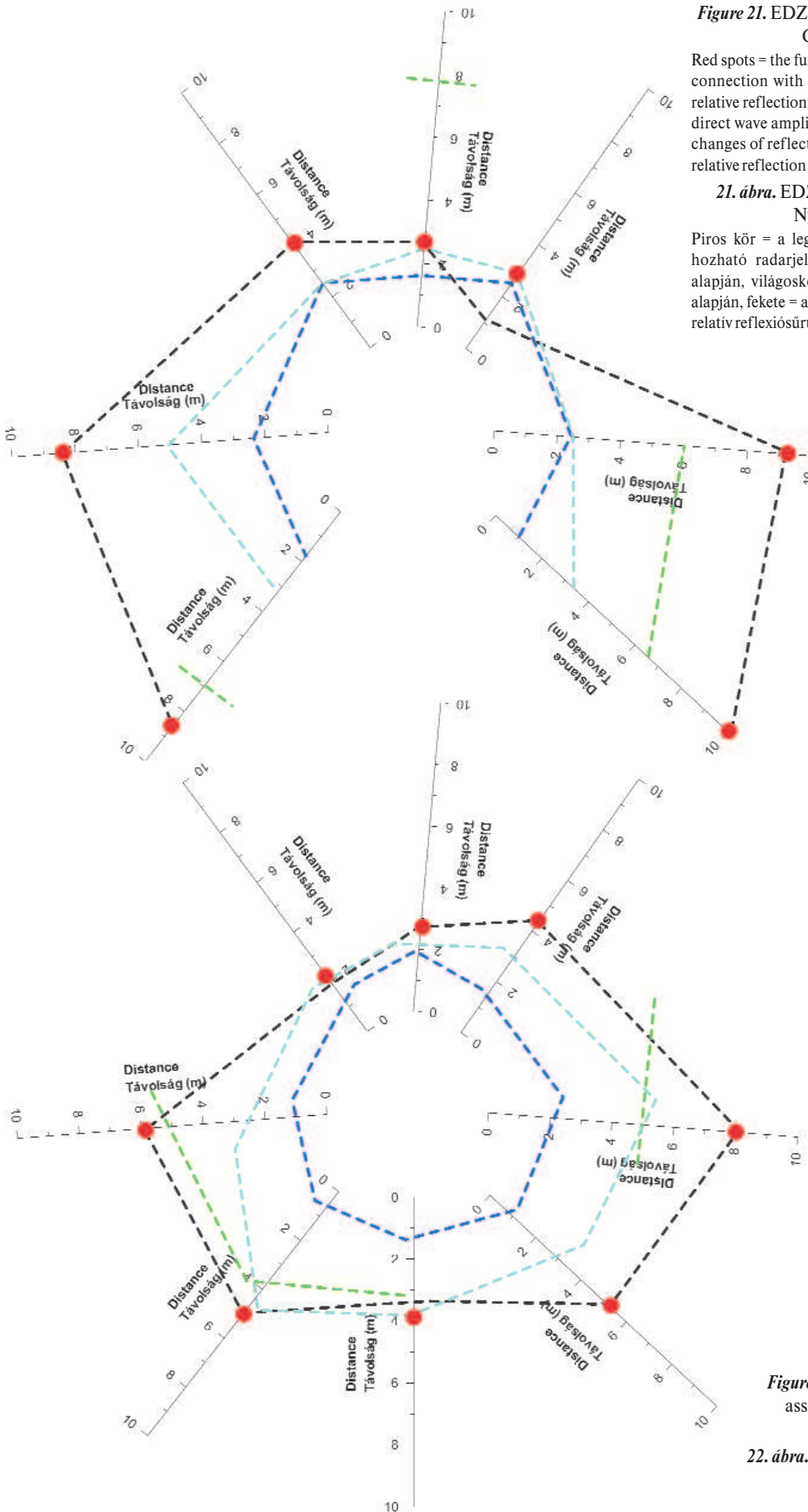


Figure 21. EDZ at the Western Incline assigned by GPR measurements

Red spots = the furthestmost GPR signal, which can be in connection with EDZ, dark blue = border line by the relative reflection densities light blue = border line by the direct wave amplitude ratios, black = border line by the changes of reflection image, green = the maxima of the relative reflection densities

21. ábra. EDZ-zóna a radarmérések szerint a Nyugati lejtősáknában

Piros kör = a legtávolabbi EDZ-zónával kapcsolatba hozható radarjel, sötétkék = relatív reflexióssűrűség alapján, világoskék = direkthullám-amplitúdóváltozás alapján, fekete = a reflexiók kép változása alapján, zöld = relatív reflexióssűrűség maximuma

Figure 22. EDZ at the Eastern Incline assigned by GPR measurements

For captions, see Figure 21

22. ábra. EDZ-zóna a radarmérések szerint a Keleti lejtősáknában

Jelmagyarázat a 21. ábrán

Bf-13 and Bf-28 are exceptions because the furthest alterations on their sections are the changes of amplitude of direct waves. The borders of this zone are between 2.5 and 10 m showing essentially larger asymmetry both on vertical and horizontal axes. The width of this zone is significantly larger

below as above. The changes in this stripe are unambiguous—a sort of displacement have happened closing and/or opening cracks between the two measurement campaigns. These changes can be explained only by realignment of stress and enlargement of classical EDZ.



### References— Irodalom

- ANAN, P. 2001: *Ground penetrating radar workshop notes*. — Sensors & Software Inc., Mississauga, Ontario, pp. 105–109.
- BASTIAENS, W., BERNIER, F., LI, X. L. 2005: Selfrac: Experiments and conclusions on fracturation and self-healing processes in clay. — *Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement Conference, Tours*, pp. 135–136.
- EGERER F. 1977: *Kőzetfizika* (in Hungarian, translated title: *Petrophysics*). — Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 224 p.
- SAIANG, D. 2008: Behaviour of blast-induced damaged zone around underground excavations in hard rock mass. Doctoral Thesis. — *Manuscript (kézirat)*, Luleå University of technology, Luleå.
- SILVAST, M., WILJANEN, B. 2008: Onkalo–EDZ Measurements Using ground penetrating radar (GPR) method. — *Manuscript (kézirat)*, Working Report 2008-58 POSIVA OY, Olkiluoto.
- SUZUKI, K., NAKATA, E., MINAMI, M., HIBINO, E., TANI, T., SAKAKIBARA, J., YAMADA, N. 2004: Estimation of the zone of excavation disturbance around tunnels, using resistivity and acoustic tomography. — *Exploration Geophysics* 35 (1), pp. 62–69.
- TSANG, CH-F., BERNIER, F., DAVIES, C. 2005: Geohydromechanical process in the Excavation Damaged Zone in crystalline rock, rock salt and indurated and plastic clays. — *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 42 (1), pp. 109–125.

## Implementation of the Geological Barriers in the Performance Assessment Model for the Bábaapáti Site

ZOLTÁN BŐTHI, GYULA DANKÓ, KÁLMÁN BENEDEK, PÉTER MOLNÁR, GYULA MEZŐ

Golder Associates (Magyarország) Zrt., H-1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.

**Keywords:** compartmentalisation, conceptual model, contaminant transport, hydrogeology, mathematical model, performance assessment, waste disposal

### Abstract

The construction activities of the National Radioactive Waste Repository (NRWR) are in progress at Bábaapáti. According to plans, this facility will receive the low- and intermediate-level radioactive wastes (LILW) originating from the operation (and later the decommissioning) of the Paks Nuclear Power Plant. The repository is to be constructed a few hundred meters below surface in the fractured crystalline host rock of the Mórággy Granite Formation.

During the geological site investigation program studying the groundwater, as the transport medium for the radionuclides released from the wastes, was emphasised. Based on the understanding achieved from investigations carried out so far a conceptual model for the site was developed, which considers the hydrogeological compartmentalisation of the area and which represented the basis for the 3D hydraulic and transport models to have been developed. The results, the experience and the interpretations of these models were then applied for the development of the mathematical model of the geosphere for the performance assessment.

The hydrogeological characteristics of the site required the development of special mathematical models to investigate the transport of radionuclides in the geological environment. For that, the one-dimensional parallel pathway approach, which is developed for crystalline host rock formations and reviewed internationally, was applied as the basis and then it was developed in such a way that it would be able to adequately describe the transport processes taking place at the Bábaapáti Site after the final closure of the repository.

### Introduction

In the design of the repository under construction at Bábaapáti the internationally accepted concept of geological disposal is applied. The main idea of this concept is that such a system is implemented for the disposal of the radioactive wastes in which the engineered barrier system (EBS) is constructed in a properly selected geological environment and that guarantees the safety for humans and for their environment. This is an effective solution because for the time scales to be considered (depending on the inventory of the waste to be disposed of it can reach as much as a million year), there is no engineered barrier for which its reliability can be totally guaranteed, which means that the retardation

capabilities of the natural barriers have to be utilised also. This is the reason why it is necessary to focus on studying the geological environment at such a high level during the site characterisation that it may be possible to predict with adequate reliability the conditions and processes developing after the final closure of the repository following its operational period.

During the calculations of the long-term radiological safety mathematical models are used to evaluate quantitatively the conceptual models and scenarios developed for this period. GOLDSWORTHY et al. (2003) comments that for the management of uncertainties in performance assessment three mathematical methodologies are used in international practise: deterministic and stochastic evaluations and

procedures based on fuzzy arithmetic. All three of those methods were used during the Performance Assessment for Construction License (BÉRCI et al. 2007). One of the main objectives of performance assessment is the investigation of how radionuclides released from the waste are being transported through the EBS and the geological environment. The transport of the contaminants is mainly mediated by the groundwater and therefore determining the hydrogeological conditions of the site and the potential transport pathways of the radionuclides are of the highest significance for the performance assessment.

In this article first the geological and hydrogeological characteristics of the Bábaapáti Site will be introduced concentrating on the most important components from perspective of long-term radiological safety. Then the expected conditions after the final closure of the repository and the conceptual models describing those conditions are presented. The most important part of the article is where the mathematical model of the performance assessment used for the investigation of the contaminant transport, which takes place in the geosphere is described. Finally, the mathematical description of radionuclide transport through the geological environment, which is developed for the specific conditions of the site and which is in accordance with the current hydrogeological conceptual models, is presented and then the results of some recent performance assessment calculations will be reviewed.

## Overview of Geology and Hydrogeology

### *Geology*

The area is located in the vicinity of the Eastern Mecsek Mountains, just south of the Mecsekajla Zone within the area of the Geresd Hills. The host rock of the Bábaapáti Site (see GYALOG, TÖRÖK 2010, Figure 1 in this volume) is crystalline rock consisting of different rock types—mainly monzogranite, monzonite, and hybrid type—of the Mórógy Granite Formation, and so it can be counted into the crystalline bedrock type sites from the perspective of radioactive waste disposal. The geology of the area (BALLA, GYALOG 2009) can be considered to be simple at the site: the Lower Carboniferous crystalline rocks are overlain by Pleistocene loess, and within the granite Cretaceous alkali basalt dykes occur.

From the perspective of long-term safety of the site the fracture network of the granite is of high importance and this is why the tectonic evolution of the site and the properties of tectonic elements visible today during the description of the geological conditions will be focused on. The events taking place during magmatic and ductile tectonic regimes are of secondary importance from the perspective of long-term safety and therefore here only the tectonic events of rigid and fault generating characteristics will be presented and their effects exclusively will be dealt with. The oldest fault generating tectonic event (which can be traced) is of Middle

Cretaceous age when the folding and the thrusting of the Mecsek Mountains and Villány Hills took place (MAROS et al. 2004). This was followed by a NE–SW striking sinistral strike-slip faulting event in the Late Cretaceous. The most important tectonic event occurred in the Early and Middle Miocene. The rocks were revolving in a clockwise direction during this period resulting in the evolution of deformations characteristic for a quickly changing stress field. Finally, the last tectonic event took place in the Late Miocene. That event which caused the uplift of the Mecsek Mountains and Villány Hills and the reactivation of the previously developed NE–SW sinistral strike-slip faults resulted in the evolution of the major tectonic elements visible today. Caused by the multiphase structural evolution a complex fracture system has been developed at the area within which four fracture groups can be distinguished (BALLA, GYALOG 2009):

- planes parallel to the magmatic and metamorphic structures with a NE–SW strike and generally dipping steeply to the NW;

- faults which are about perpendicular to the previous ones (with a strike of NW–SE and NNW–SSE) and mainly dipping to the NE and which are assumed to penetrate the previous fractures;

- faults with a dip close to being vertical and with a strike of E–W;

- and finally, the faults occurring only subordinately with a N–S strike and with a highly variable steepness.

The structural orientations drafted above define the general orientation and the connection system between the most important hydrogeological elements—the fault seal zones, the highly transmissive fault zones, the conductive zones and the individual fractures—with respect to the radionuclide transport taking place at the site.

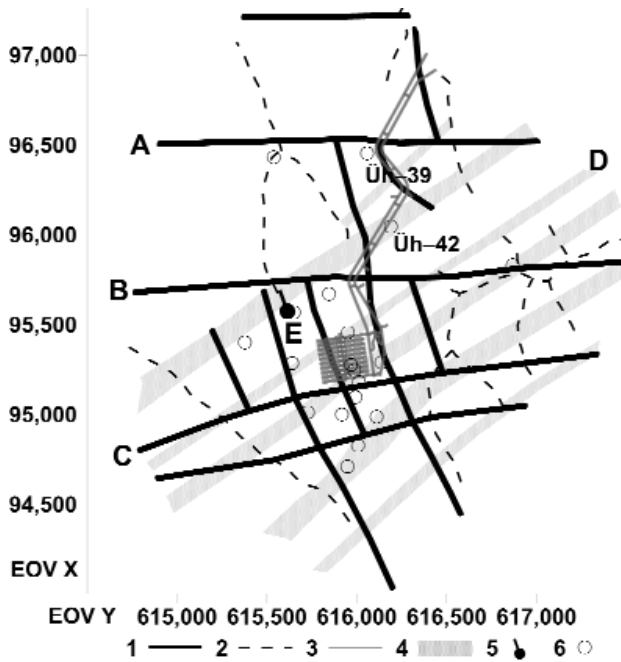
### *Hydrogeology*

First, a general description is given, which is followed by the presentation of conditions after the final closure.

#### General Description

From the 658 mm annual precipitation only 24 mm (ROTÁR-SZALKAI et al. 2004) reaches the surface of the crystalline bedrock. The weathered granite zone located at the uppermost part of the granite has a higher hydraulic conductivity compared with the fresh rocks underlying it and therefore 95–96% of the water reaching it moves horizontally towards the valleys within it. This results in an infiltration in the order of only 1 mm/yr into the fresh granite and this is the load of recharge for the deep groundwater system.

Based on the interference tests and single-well tests and on the data and results of the hydrogeological monitoring system in operation at the site it can be concluded that the investigated rock formation can be divided into several hydrogeological compartments (BENEDEK et al. 2009). These blocks are separated from each other by E–W, N–S and NE–SW striking fault seal zones (Figure 1); this



**Figure 1.** The fault seal zones causing the hydrogeological compartmentalisation of the Bataapáti Site together with NE-SW striking conductive zones and with the elements of the tunnel system of the repository (after MEZŐ 2010)

1—fault seal zone, 2—surface stream, 3—tunnel, 4—conductive zone, 5—spring, 6—ground-based borehole, A = Klára Fault, B = Péter Fault, C = Zoltán Fault, D = alkalisbasalt dyke, E = Gyurika Spring. EOV = Uniform Nationwide Projection

**I. ábra.** A Bataapáti-telephely vízföldtani blokkosodását okozó torlasztó-szigetelő szerkezetek az ÉK-DNy-i csapású vízvezető pásztákkal, valamint a tároló üregrendszerének elemeivel (MEZŐ 2010 nyomán)

1 – torlasztó-szigetelő szerkezet, 2 – felszíni vízfolyás, 3 – vágat, 4 – a vizet jobban vezető pászták, 5 – forrás, 6 – felszíni mélyfúrás; A = Klára-törés, B = Péter-törés, C = Zoltán-törés, D = alkalisbasalt-telér, E = Gyurika-fakadás

generally consist of a highly altered and mainly argillaceous core and of a conductive, highly fractured damage zone following it on either one or on both sides. So far there has been no evidence for any hydrogeological signal to penetrate in a measurable quantity these zones which have extents in excess of hundreds of meters, but at the same time these zones have been damaged due to the construction activities taking place at the site (elements B [Péter Fault] and A [Klára Fault] in Figure 1). In those latter cases the hydrogeological impact could be measured in the neighbouring blocks and that means that their separation ceased to exist or at least its proportion has decreased. In the state before the construction the estimated hydraulic potential values within the blocks could be assumed to be the same, so the compartments could have been distinguished mainly based on their hydraulic heads and this assumption was confirmed by a discriminant analysis (BENEDEK et al. 2008a).

The equivalent hydraulic conductivity of the fresh granitoid rocks in the scale of the blocks within the compartments is about  $3 \times 10^{-8}$  m/s based on the results of hydrogeological modelling (MEZŐ, BENEDEK 2007), although the spatial heterogeneity within it is significant. Based on the results of the single-well packer tests the

transmissivity determined for the 10 m-long investigation zones shows a variability of seven orders (from  $1 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s to  $1 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s).

More and less conductive zones can be distinguished within the blocks based on site observations (MEZŐ 2010). These can be distinguished mainly based on the transmissivity distribution of the fractures appearing in them since higher transmissivity components occur in the more conductive zones and their transmissivity distribution is also shifted towards the higher values compared to the less conductive zones. These zones can be traced generally in NE-SW strike, which agrees with the general orientation of the Mórággy Granite. Most of the time alkali basalt dykes show a similar orientation. On both sides of the dykes there are few metre-wide loosened zones creating a well communicating and connected fracture network.

The conductive zones with the highest transmissivity (from  $1 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s to  $1 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s) at the Bataapáti Site all without exception appear in connection with the NE-SW structural orientation, which may follow the strike of the dykes or can occur independently from them. As the dykes create swarms of dykes, these highly conductive zones generate groups or zones. The NE part of the planned repository is penetrated by such an alkali basalt dyke (element D in Figure 1; SZEBÉNYI et al. 2009).

The characteristic hydrogeological compartmentalisation of the site required a specific hydrogeological conceptual model to be developed. Its main idea is that it presents a unified system, which describes the hydraulic and transport processes taking place within blocks and between blocks. It states that the water balance for the individual hydrogeological compartments can be traced back to the following components (BENEDEK et al. 2009):

—recharge: infiltration from the surface, overflow from the upstream block, filtration through the fault seal zones;

—discharge: overflow into the downstream block, filtration through the fault seal zones, discharge at the surface.

The hydraulic conditions within the compartments—the low hydraulic gradient within the blocks, the good hydraulic communication between areas located far away from each other—are mainly determined by the highly transmissive fractures and fault zones. In contrast, in the transport processes the low-transmissivity background fracture network, which is present in much bigger quantities plays the dominant part (BENEDEK et al. 2008b).

At the surface discharge the deep groundwater is mixed with the waters flowing horizontally in the weathered granite zone. Calculations lead to the conclusion that only 3-4% of the waters flowing along the valleys can be considered to have deep groundwater origin and that means that the dilution of the deep groundwater is about 25-30 times (ROTÁR-SZALKAI et al. 2004).

From the perspective of the safety assessment of the site the original hydrogeological characteristics of the investigated rock (granite) are not the only ones that are significant but also the fact that these original properties are

altered somewhat due to the construction activities taking place at the site. During the blast and drill excavation of the access tunnels and disposal chambers the original properties of the rock are altered in a thin layer, which is called the EDZ (Excavation Damaged Zone). Site measurements show that the thickness of the EDZ is about 0.5 m on the sides and at the top of the tunnels, whereas it reaches 0.7-0.8 m at the bottom (KORPAI et al. 2009). According to measurements and observations a generally occurring, connected fracture network with good communication and with an average transmissivity of  $5 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s has developed along the tunnels (SZEBÉNYI et al. 2009).

### Conditions after the Final Closure

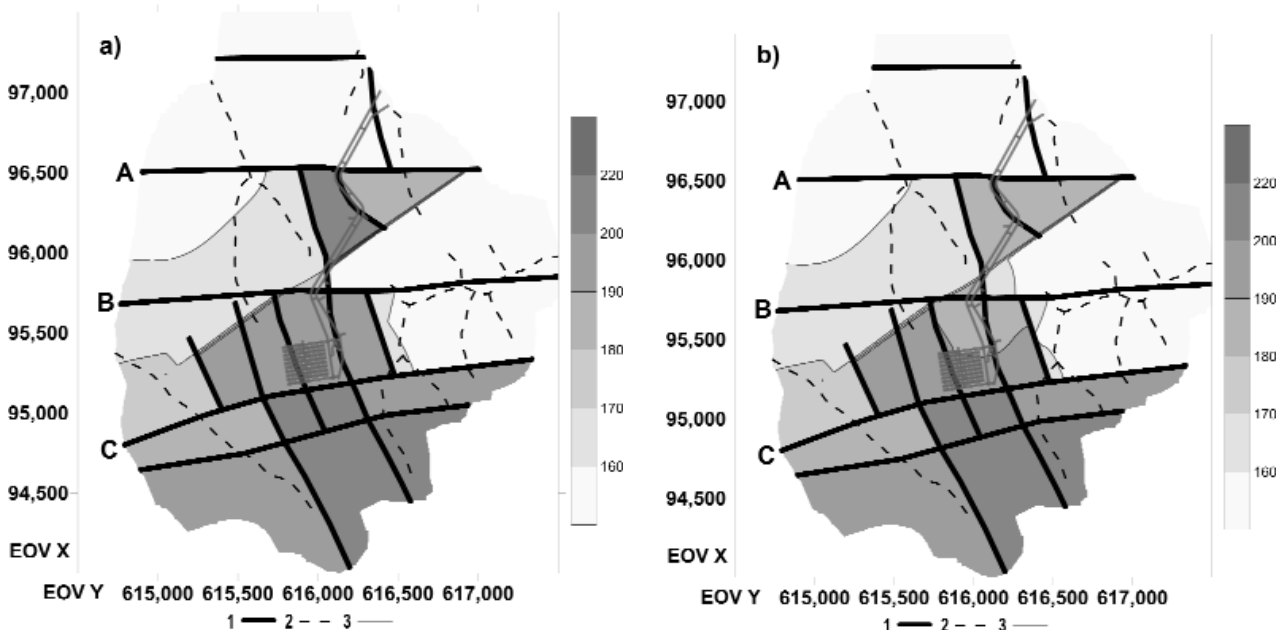
The information available is for the conditions before the disturbing effects of exploration and construction took place and for the conditions evolving due to the construction, that is the excavation of the tunnels (BENEDEK et al. 2007b). Predictions have to be made for the transient conditions developing after the final closure of the repository (characteristic for the period during which the system resaturates) and for the steady-state conditions evolving after this process is finished to base the evaluation of long-term safety on. To identify the possible steady-state conditions, which may develop after the final closure, such a conceptual model has to be developed that agrees with the current knowledge, and three-dimensional hydrogeological models have to be developed and evaluated in repository, in single block and in site scale based on this conceptual model.

The results of the modelling activities carried out so far (BENEDEK et al. 2007a, BÓTHI, GYÖNGYÖSI 2009, MEZŐ, BENEDEK 2007, MEZŐ 2010) show that the features of the steady-state condition to evolve after final closure are decisively determined by the properties of the engineered barrier system. From the elements of the engineered barrier system the bulkheads to be constructed where the access tunnels had penetrated the fault seal zones have prominent significance. Depending on the water tightness of the structure to be implemented at the penetration of the zone, the state after the final closure could be characterised by two significantly different steady states (Figure 2). The different conditions are defined by the spatial distribution of hydraulic heads and the groundwater flow system that results from it, and above these the properties and comparative proportions of the transport processes to be considered.

### PROPER CLOSURE OF THE REPOSITORY

The investigations and interpretations carried out during site investigation confirmed (BALLA et al. 2003, SZEBÉNYI et al. 2009) that the groundwater flow system of the site existing before construction could be characterised as one with favourable hydrogeological properties for the disposal of radioactive wastes. Consequently, if such a steady state could be achieved after final closure that generally agrees with the state before construction by using adequate design options then the safe disposal of radioactive wastes can be achieved.

By investigating the placing of bulkheads in the access tunnels BENEDEK et al. (2007a) concluded that these



**Figure 2.** The hydraulic potential field to develop in the steady state after the closure of the repository as a function of the quality of bulkheads constructed in the access tunnels (MEZŐ 2010)

a) hydraulic heads in case of proper closure, b) hydraulic heads in case of improper closure; 1—fault seal zone, 2—surface stream, 3—tunnel, A = Klára Fault, B = Péter Fault, C = Zoltán Fault. The grayscale represents the hydraulic potential values in m asl (Baltic System) EOY = Uniform Nationwide Projection

**2. ábra.** A lezárást követő egyensúlyi állapotban kialakuló hidraulikus potenciáltér a megközelítő vágatokban kialakított vízgátak minőségének a függvényében (MEZŐ 2010)

a) hidraulikus potenciál megfelelő lezárás esetén, b) hidraulikus potenciál nem megfelelő lezárás esetén; 1 – torlasztó-szigetelő szerkezet, 2 – a felszíni vízfolyás, 3 – vágat; A = Klára-törés, B = Péter-törés, C = Zoltán-törés. A szürkeárnyalat a hidraulikus potenciál m Bf-ben kifejezett értékeit mutatja EOY koordináta-rendszerben



structures are only capable of the adequate retardation of contaminants originating from the repository if they are implemented right at the place where the tunnels had penetrated the fault seal zones. In this favourable case the area will be divided into several separated blocks by the fault seal zones, and between those blocks—similarly to the conditions before construction—only very limited water flow will happen.

BÓTHI, GYÖNGYÖSI (2009) carried out a sensitivity analysis by using the site-scale hydrogeological model, which was developed by MEZŐ, BENEDEK (2007) and which contained the site and its environment to evaluate the impact of the water tightness (or hydraulic conductivity) of the bulkhead on the transport of contaminants. They concluded that the hydraulic conductivity of the bulkhead must be equal to or lower than the block-scale equivalent hydraulic conductivity of the granite ( $3 \times 10^{-8}$  m/s) to achieve the safe disposal of the whole waste inventory with the currently agreed engineered solutions.

MEZŐ (2010) analysed in detail the possible steady-state conditions evolving after final closure by using a site-scale hydrogeological model. Within this he compared the hydraulic potential field determined for the conditions before the construction of the repository with the steady-state conditions developing after its closure by assuming  $5 \times 10^{-6}$  m/s and  $1 \times 10^{-4}$  m/s hydraulic conductivity values for the backfilled chambers and for the access and distribution tunnels backfilled with crushed granite, respectively. The proper closure of the repository (Figure 2, a) was implemented in the model by defining bulkheads at the penetrations of the fault seal zones with a hydraulic conductivity of  $1 \times 10^{-12}$  m/s, which equals the supposed water tightness of the core of the sealing zone. Based on that, he concluded that the backfilled excavations have very limited influence on the hydraulic head distribution and on the flow field determined for the conditions before construction. It can be concluded from his results that if bulkheads could be implemented in the access tunnels with the quality assumed in the model where they had penetrated the Péter Fault and the Klára Fault. Then the followings should be made:

—The conditions before construction with the mosaic-like structure of compartments with different hydraulic potential values will be restored (MEZŐ 2010).

—Within the compartment containing the repository the hydraulic head of 190 m will be restored uniformly with very low spatial heterogeneity, which will cause the diffusive processes—which are better from the perspective of retarding the contamination—to dominate over the advective transport processes.

—The area between the Péter Fault and the Klára Fault (in the vicinity of the surface boreholes Üh-39 and Üh-42) will have a higher hydraulic potential (about 200 m) than the 190 m heads characteristic for the block containing the repository (Figure 2, a) and it will prevent the water from flowing—and with it the advective contaminant transport to occur—from the repository towards the opening points of the access tunnels along them.

—The flow pathways will be diverted alongside the Péter Fault in an E–W direction (and will reach the surface only after 10,000 years in the neighbouring valleys), and will get to the surface at the area of the Gyurika Spring (element E in Figure 1; in about 1,000–10,000 years), and will penetrate through the fault seal zone in only negligibly small quantities (MEZŐ 2010).

KOVÁCS et al. (2010), in connection with investigating the elements of the final closure of the repository, determined the highest equivalent conductivity value for the bulkheads to be implemented at the fault seal zone penetrations together with the EDZ around them, which is acceptable considering the currently accepted waste inventory and the design options used for other elements of the engineered barrier system. They concluded that the hydraulic conductivity of the bulkhead must be lower than  $5 \times 10^{-7}$  m/s for the time scale considered in the performance assessment. They demonstrated that its feasibility is less dependent on the technical implementation of the actual bulkhead (for which hydraulic conductivities as low as  $1 \times 10^{-11}$  m/s could be aimed for to achieve based on international experience) and it is more dependable on the extent and hydraulic conductivity of the EDZ around it.

#### IMPROPER CLOSURE OF THE REPOSITORY

The improper closure of the repository happens if

—No bulkheads are implemented in the access tunnels where they had penetrated the fault seal zones as it was demonstrated by the investigations of BENEDEK et al. (2007a; constructing bulkheads at other places have only a local influence and it can be characterised by diverting the flows from the tunnels to the geological environment and then returning to the tunnels after passing by the bulkheads).

—Or the equivalent hydraulic conductivity of the bulkheads implemented at the penetration of the sealing zones exceeds the requirements detailed above for the time scales under consideration (KOVÁCS et al. 2010, MEZŐ 2010).

In case the repository cannot be properly closed then a flow system will evolve, which is very different from the conditions before the construction and which is unfavourable from the perspective of radioactive waste disposal (BÓTHI, GYÖNGYÖSI 2009, BÓTHI 2010). This can be characterised as follows:

—At the area under the influence of the access tunnels and the repository the blocks which used to behave separately in the conditions before construction will attach to each other and will become a single system (single compartment; MEZŐ 2010).

—Within this block the stepwise spatial distribution of the hydraulic heads will become less prominent and the high-potential area visible before the construction between the Péter Fault and the Klára Fault will cease to exist (Figure 2, b), instead of that a hydraulic gradient will be developed to form pointing from the chambers towards the opening points of the access tunnels.

—The contaminant transport through the fracture network of the host rock which used to be characterised by

having favourable retardation processes under the conditions before construction will either cease to exist or will become secondary in importance due to the fact that most of the contaminants will be transported towards the biosphere alongside the access tunnels.

—The inflow into and the flow rate through (and alongside) the cavern system (the chambers and tunnels) towards the opening points will increase by several orders of magnitude (BÓTHI, GYÖNGYÖSI 2009, KOVÁCS et al. 2010).

—The radionuclides will be released from the chambers faster and with higher mass flux due to the increased flow rates, and they will be transported faster alongside the transport pathway (in this case it is alongside the access tunnels), and also the degradation processes in the EBS will take place faster (which will further increase the processes described above).

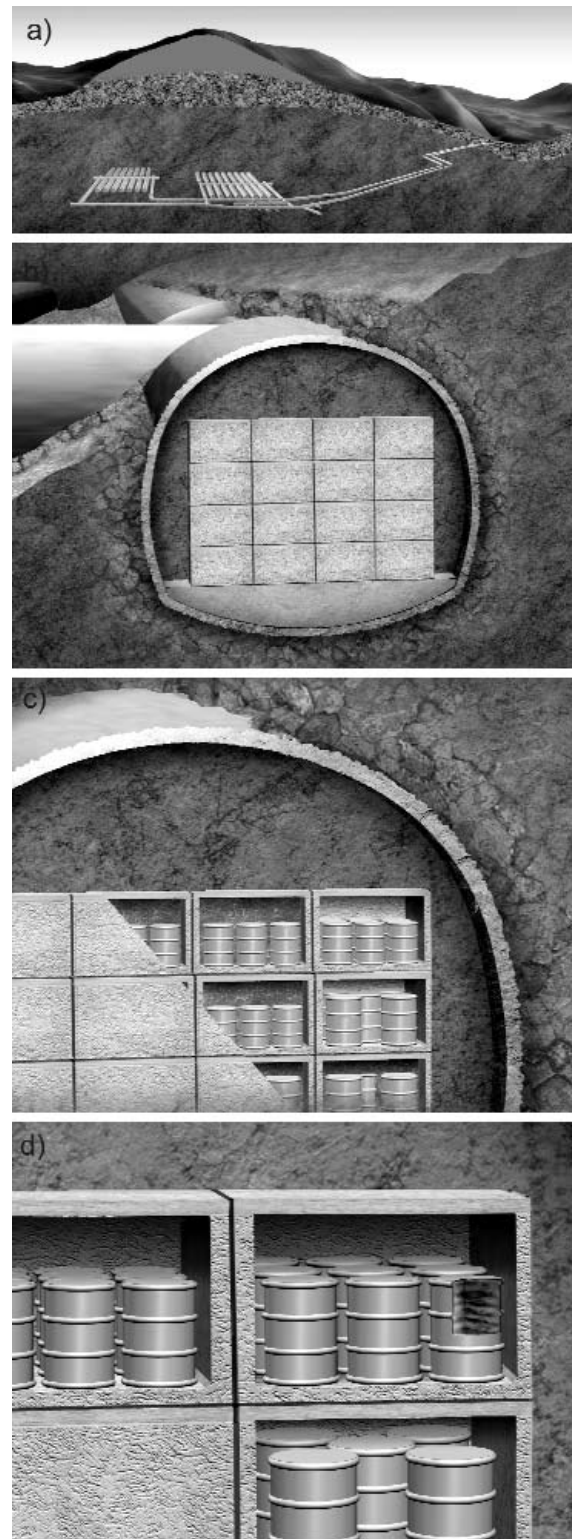
### Conceptual Model of the Performance Assessment

In the upcoming sections a short summary of the disposal system will be given and the characteristic radionuclide transport pathways through the geosphere will be described. It is followed by an overview of the major transport processes that have to be considered during the mathematical implementation of the model. Alternative scenarios are not considered here because previous investigations showed that they do not present considerable change in system behaviour.

#### *The General Description of the Disposal System*

According to plans the low- and intermediate-level solid or solidified radioactive wastes originating from the operation of the Paks Nuclear Power Plant will be disposed of at the Bábaapáti Site. The wastes will be transported to the surface facility in 200 l carbon steel drums (Figure 3, d) where they will be packaged in reinforced concrete containers (Figure 3, c) and with the use of backfilling material monolithic blocks will be created from them (BÉRCI et al. 2007). Reinforced concrete containers represent the disposal package units. The containers will be transported by trucks through the access tunnels into the horizontal disposal chambers (Figure 3, b) where they will be placed in a 4×4+3 system (GYÖNGYÖSI 2008), and maximum 44 of such sections will be placed in a chamber with 100 m long active length. The fully filled up chambers will be backfilled with self-compacting concrete and finally the chambers will be separated from the other parts of the repository by implementing bulkheads in their neck. At the final closure of the repository (Figure 3, a) the horizontal tunnels and the access tunnels will be backfilled with crushed granite and they will be divided into different parts by constructing bulkheads in them. At the opening of the access tunnels a concrete plug will be placed to prevent human intrusion.

After the closure of the repository a monitoring system will be operated to check the operation of the repository (this



**Figure 3.** Overview of the disposal system

a) the repository located underground in the granitic rocks, b) cross section of a chamber with containers, c) some containers showing the drums inside them, d) carbon steel drums with wastes inside them

#### **3. ábra.** Az elhelyezési rendszer vázlatos felépítése

a) a telephely elvi keresztmetszete a felszín alatt kialakított kamrákmezőkkel és megközelítő vágatokkal, b) egy tárolókamra keresztmetszete a felhalmozott vasbeton konténerekkel, c) a vasbeton konténerekben belül elhelyezett szénacél hordók, d) a vegyes szilárd, illetve szilárdított hulladékokat tartalmazó szénacél hordók

is called the active institutional control period, which is assumed to last for 100 years). After that the institutional control of the area will be continued in a passive way (e.g. by limiting occupancy of the area) to protect the disposal system for as long as possible (currently it is assumed that this passive control period will not exceed 300 years). The disposal system—the EBS together with the host rock (the granite)—is capable to provide the safety of the biosphere for the whole lifetime of the repository as it was confirmed by the results of performance assessments.

According to the normal scenario, which represents the expected evolution of the disposal system (BÓTHI, TAKÁCS 2009) after the closure of the repository, which is the end of the active water pumping, the resaturation of the caverns of the repository will start immediately by the groundwater. After it has reached the level when the drums containing the wastes are resaturated the exposition of the radionuclides from the waste form will begin. The isotopes solved in the pore water will get through the cementitious backfill material between the drums and on through the walls of the container and will reach the disposal chamber backfilled with self-compacting concrete material. There they will get through to the EDZ around the chamber by advective-dispersive—mainly expected to occur in the fractures of the backfill (concrete)—and by diffusive transport processes. They will be diluted somewhat in the EDZ but also their transport will get faster due to the higher flow rates occurring there. The local flow pattern determines where and in what direction the radionuclides released will leave the chambers. Basically there are two main transport pathways that should be considered: they will get either into the fracture network of the granite or they will get into the tunnels through the neck. From these two transport pathways the one through the background fracture network of the granite is the more favourable from the perspective of the safety of the repository, since it can be characterised by having slow transport speeds and relatively high retardation. The radionuclides reaching the surface will get into the biosphere where they will cause effective dose<sup>1</sup> to the humans and to other living creatures due to their decay.

### *Characteristic Transport Pathways*

As described above, the behaviour of the disposal system in the steady state after closure can be fundamentally different depending on the efficiency of the bulkheads implemented in the access tunnels. In the normal scenario (BÓTHI, TAKÁCS 2009), it is considered that the restoration of the compartmented hydraulic system, which is characteristic for the conditions before construction, can be achieved. In this case the contaminants released from the chambers will get into the fracture network of the host rock and through this they will migrate in the direction of the natural discharge

points (like the Gyurika Spring) of the block containing the repository. This transport pathway is considered to be the normal geosphere pathway for the disposal system or it can be called the migration pathway<sup>2</sup> representing the normal release (see GOLDSWORTHY et al. 2004, Figure 2). In case the bulkheads constructed in the access tunnels are not able to restore the compartmentalised system then the migration of the radionuclides will take place alongside the access tunnels in the direction of the opening point. This migration pathway is also considered in the performance assessment but not detailed here.

The normal geosphere model (BÓTHI, TAKÁCS 2009) is made up of the following components from the chambers towards the discharge points:

- less conductive zone;
- more conductive zone;
- main water-conductive feature (MWCF);
- conductive zone following the sealing zone;
- weathered granite layer.

The difference between the more and less conductive zones is that in the more conductive zones fractures with higher transmissivity have higher probabilities to occur. The less and more conductive zones can be considered to be the same both conceptually and in their mathematical implementation, only the parameter values describing them are different in regard of the two zones. This can be considered the most fundamental component of the geosphere module for the disposal system, and the one that has the highest impact on the retardation<sup>3</sup> of contaminant migration.

Radionuclide migration in the different zones occurs in an advective-dispersive way within the fracture network of the granite, which is characteristic for fractured crystalline rock formations. Since the compartmentalised flow system developing in case of the normal release can be characterised by having extremely low hydraulic gradients therefore diffusive processes play a major role in the transport or rather in the retardation of contaminants. Based on the results of investigations carried out so far matrix diffusion<sup>4</sup>—in which isotopes migrating in the fractures are diffused into the matrix of the granite or into the microfractures of the rock not connected to the advective transport—can be considered to be one of the most significant of those processes. From the point of view of its impact a similar process—which is also possible to exist based on the evaluation of results coming from tracer tests (MOLNÁR et al. 2008a)—is mass transfer with immobile zones. Both retardation processes make the migration of contaminants through the geological

<sup>2</sup> It is a movement of materials (e.g. radionuclides) through different media (like the material of the barrier or soil) which occurs generally together with fluid flow transport.

<sup>3</sup> Retardation:  $R = v/vR$ , where  $R$  is the retardation coefficient and  $v$  is the velocity of water movement and  $vR$  is the velocity of contamination. The retardation coefficient ( $R$ ) is one for non-sorbing species, and it is more than one otherwise.

<sup>4</sup> The transport process, in which the solution moves from the moving part of the water towards the immobile zone or in the opposite direction but always following the direction and magnitude of the chemical concentration difference is called matrix diffusion.

<sup>1</sup> The effective dose is a biological dose concept, in which the different risk raising effect of the tissues is considered. The dose caused by ionising radiation is understood as the energy absorbed in a certain material.

environment longer, so they both extend the transport time and decrease the concentration of contaminants within the fractures. All of this decreases the contaminant flux reaching the biosphere by several orders of magnitude and so it also decreases the annual effective dose. This impact is even more exaggerated for the elements which are susceptible to be sorbed, since by being diffused into fractures with small apertures they will make contact with a larger rock surface and so they can be sorbed in increased quantities.

It is a general observation—which is confirmed by modelling results based on site-specific data (MOLNÁR et al. 2008a)—that contaminant transport in the fracture network of crystalline rocks is increasingly concentrated in the high-transmissivity fractures occurring in the fault zones as it moves further away from the source. (This is called the Main Water Conductive Feature [MWCF] in international literature [JNC 2000].) This is the reason why the next element of contaminant transport in the normal geosphere is represented by this MWCF. This feature collects and transports further away the groundwater contaminated by radionuclides and at the same time it also dilutes it with uncontaminated groundwater. (In reality it is rather a fault zone with high-conductive fractures than a single structure.) Conservatively, the retardation processes taking place in such MWCF features are neglected including sorption and matrix diffusion. The reason for this is that the significance of retardation here—due to the relatively fast advective-dispersive transport—is negligible compared to the one taking place in the background fracture network.

The most characteristic feature of the Bábaapáti Site is its hydrogeological compartmentalisation as detailed above. This is caused by the fault seal zones extending several hundreds of meters (BENEDEK et al. 2009). These zones are usually followed by highly fractured zones, which therefore possess high conductivity also. This asymmetric structure makes it almost impossible for the contaminants to get through the fault seal zones (except for the very slow diffusive processes), and diverts them vertically towards the discharge points. The contaminant transport occurring here is generally the same as the one described above at the main conductive zones and therefore the two can be managed together during the mathematical implementation.

The contaminants are significantly diluted in the weathered granite layer before they reach the surface (ROTÁR-SZALKAI et al. 2004) by the waters recharging the same hydrogeological compartment and discharging at the same discharge point. Probably the radionuclides are being sorbed in the weathered granite zone mainly onto the clay minerals but this is worth neglecting during the evaluations. Finally, the contaminated waters reach the natural discharge points of the hydrogeological compartment, which are the springs, and so they get into the biosphere.

Most of the alternative scenarios—like increased or decreased infiltration due to climatic changes, or changes in the fracture system induced by some tectonic movement—have negligible effect on the conceptual description of contaminant transport (BÉRCI et al. 2007). Previous

investigations confirmed that the impact of these alternative scenarios on the assessment of the long-term safety of the repository is also insignificant. The only alternative scenario whose impact must be assessed separately is the one connected to the improper closure of the repository. In this case—as it was analysed earlier—the normal geosphere migration pathway is exchanged for a pathway featuring much faster transport and much higher contaminant fluxes in the access tunnels and in the EDZ along them.

### *Transport Processes*

While the flow system determines the possible migration pathways, the properties and proportions of transport processes taking place along the individual pathways have a direct influence on the contaminant flux reaching the biosphere. In the case of the normal geosphere the following processes play prominent roles in the contaminant transport:

- radioactive decay,
- precipitation,
- sorption,
- advection,
- diffusion,
- dispersion,
- matrix diffusion.

It is worth noting that some of the transport processes or their effects were not investigated in earlier assessments. Such a one is ion-exclusion (where the size of the fracture makes it impossible for the solved ions to get diffused into it) or co-precipitation.

BÓTHI et al. (2008c) described the processes listed above and investigated their role in contamination transport using sensitivity analysis. In this framework they evaluated the transport of a site-independent contaminant with unit initial concentration by comparing its breakthrough curves<sup>5</sup> at a given distance from the source using both instantaneous and continuous sources (Figure 4).

Based on the results of investigations carried out at the Bábaapáti Site it can be concluded that there are probably several transport processes that may decrease the flux of radionuclides released from the repository reaching the biosphere significantly. These are as follows:

—Radioactive decay. Since a significant part of the wastes planned to be disposed of contain radionuclides with short half-lives (<sup>3</sup>H, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co) in significant quantities, during the time in which they are assumed to be transported through the geological environment—which is in the order of hundreds to thousands of years—the major proportion of them are decayed and therefore they cause only limited annual effective doses in the biosphere. Mostly the radionuclides with long half-lives but also with low activity concentration (uranium isotopes, <sup>239</sup>Pu, <sup>36</sup>Cl, <sup>129</sup>I, <sup>14</sup>C, <sup>59</sup>Ni) and their daughter products (<sup>226</sup>Ra, <sup>230</sup>Th) represent the

<sup>5</sup> Breakthrough curve is a diagram in which the relative concentration ( $C/C_0$ ) is presented as function of time.  $C$  represents the measured concentration at the observation point, whereas  $C_0$  stands for the initial concentration at the source. The integral of this curve over time is the cumulative mass recovery diagram.

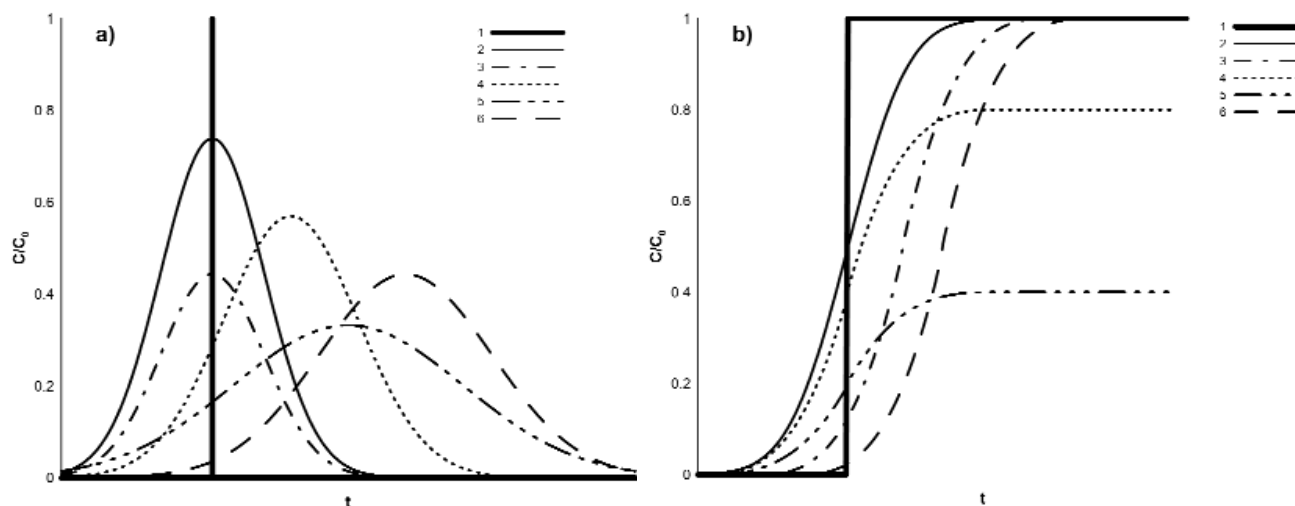


Figure 4. Effect of transport processes in various cases (BÓTHI et al. 2008c)

a) instantaneous input source, b) continuous input source; 1—advection, 2—dispersion, 3—sorption, 4—decay, 5—precipitation, 6—matrix diffusion

4. ábra. A transzportfolyamatok hatása különböző terhelés esetén (BÓTHI et al. 2008c)

a) pillanatszerű terhelés, b) folyamatos terhelés; 1—advekción, 2—diszperzió és diffúzió, 3—megkötődés, 4—bomlás, 5—kicsapódás, 6—mátrixdiffúzió

problem. From these the biggest problems are caused mainly by the isotopes of chlorine and iodine since they have a conservative behaviour; this means that they are liable for sorption in only very limited quantities.

—Matrix diffusion. BÉRCI et al. (2007) stated that by considering matrix diffusion the maximal dose in the biosphere can be decreased by 2.5 orders of magnitude and therefore this process can be considered to be the single factor, which has the highest impact on doses. On the other hand, the role of matrix diffusion is not quite clear as results of some analytical and numerical models used to evaluate the tracer tests carried out at the site suggested that matrix diffusion has to be considered whereas other models were insensitive to this process (MOLNÁR et al. 2008a, b).

—Advection<sup>6</sup>. If the compartmented hydrogeological flow system characteristic for the conditions before construction is restored after the closure of the repository then the significance of advection will decrease significantly due to the low hydraulic gradient within the blocks. On the other hand, at a higher gradient the advective-dispersive contaminant transport can become dominant, and that may result in a radionuclide transport that reaches the biosphere in shorter time and with a higher flux. As a consequence, the shorter transport time will result in smaller radioactive decay and this will result in an increased dose mainly for the radionuclides with short half-lives.

—Precipitation, sorption. It is less probable that precipitation will occur in the geological environment since the radionuclides which have solubility limits are most probably already precipitated in the EBS and therefore their concentration reaching the geosphere will not exceed their solubility limit. On the other hand, sorption can be a major retardation process, mainly together with matrix diffusion.

<sup>6</sup> The transport process, in which the solved contaminants move together with the water moving due to the difference in hydraulic potential values (heads) is called advection.

—Colloid-mediated transport. On the contrary to the transport processes described above the colloid-mediated transport of contaminants have an unfavourable effect on the doses in the biosphere. The reason for this is that the transport by colloids is faster and enables higher quantities of radionuclides to be transported compared to the quantities considered with solubility limit and sorption. The significance of this process is not yet known for the site.

### The Mathematical Model of the Stochastic Performance Assessment

First the simplification of the three-dimensional contaminant transport will be introduced and then the implementation of the transport pathways followed by the validation of the mathematical model will be demonstrated and finally the development of the transport pathway model will be discussed.

#### Simplification of the Three-dimensional Contaminant Transport

Contaminant transport takes place in the complex, hierarchically structured three-dimensional fracture network in fractured crystalline rocks such as the Mórógy Granite Formation at the Bataapáti Site. To investigate within the framework of the performance assessment the processes taking place there, significant simplification must be carried out during its conceptualisation and mathematical model implementation. These must be done in such a way that the functioning of the whole system—at least on a general level—could be characterised in adequate detail and accuracy.

One of the most defining simplifications which must be carried out is the conversion of the three-dimensional contaminant transport into a system of one-dimensional

processes. The system—using serial and parallel connections—developed this way must be able to reproduce and to describe the complexity, the spatial variability and the connections of the real processes. This was achieved by using probabilistic approaches based on site investigations—single-well packer tests, interference tests and tracer tests—and on the statistical analysis of results coming from detailed hydrogeological models (BENEDEK et al. 2003) mainly using the DFN (Discrete Fracture Network) method.

To select the implementation of the mathematical model to be used for the site the connection schemes (Figure 5) provided by the GoldSim modelling environment (GoldSim Technology Group 2006, 2007) were reviewed, systematised (BÓTHI et al. 2008b), and analysed regarding their advantages and disadvantages. Contaminant transport can be implemented in GoldSim basically by using two elements, the mixing cell and the pipe. The two elements are

capable of describing conceptually different processes and therefore their mathematical model implementation is also quite different. The mixing cell can be used to describe such parts of the transport pathway, within which instantaneous and total mixing can be assumed to occur. Due to this approach, only such elements can be described by it within which the transport can be assumed to happen instantly. But if the transport is discretised and is modelled by a series of mixing cells then the spatial and temporal procession of the transport can be adequately implemented. On the contrary, the pipe element is capable of describing the progress of the one-dimensional transport and its temporal development within the element. This element was developed specifically to model such conductive structures like fractures or streams. Naturally, above these basic characteristics both elements have such features which may be necessary to solve certain tasks. Solubility limit and sorption can be considered within the mixing cell and these elements can be connected

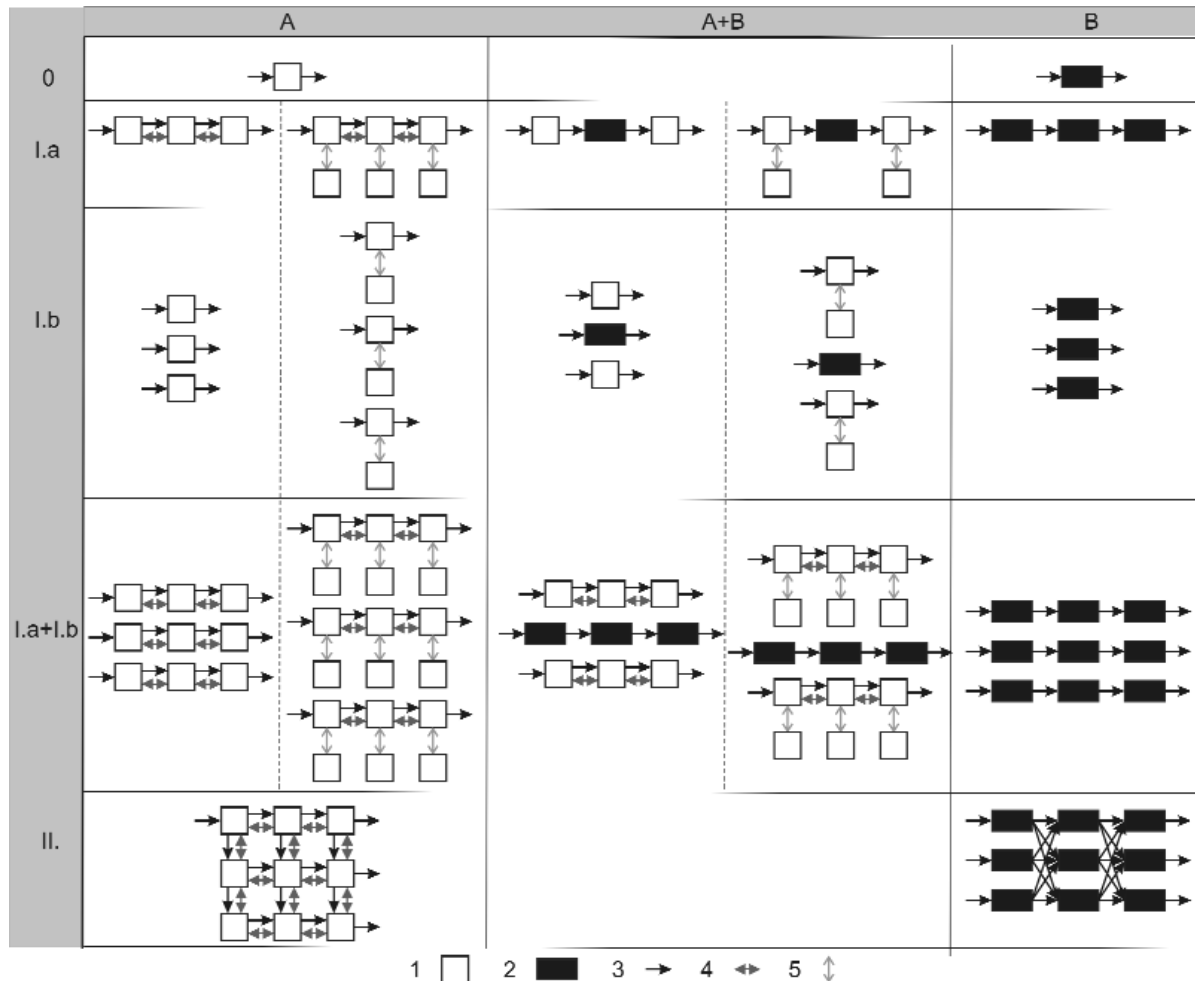


Figure 5. The system of mathematical models, which can be implemented by using mixing cells and pipes

1—mixing cell, 2—pipe, 3—advection, 4—diffusion, 5—matrix diffusion; A = only mixing cell, B = only pipe, A+B = mixing cell and pipe together, 0 = single component, I.a = serial connection, I.b = parallel connection, I.a+I.b = serial and parallel connection together, II. = network connection

##### 5. ábra. A keveredési cellákból és csőelemekből felépíthető matematikai modellek rendszere

1 – keveredési cella, 2 – csőelem, 3 – advekción, 4 – diffúzió, 5 – mátrixdiffúzió; A = csak keveredési cellákból felépülő modellek, B = csak csőelemekből felépülő modellek, A+B = keveredési cellákat és csőelemeket egyaránt tartalmazó modellek; 0 – egyetlen elemet tartalmazó modellek; I.a – sorosan kapcsolt elemeket tartalmazó modellek; I.b – párhuzamosan kapcsolt elemeket tartalmazó modellek; I.a+I.b – sorosan és párhuzamosan kapcsolt elemeket egyaránt tartalmazó modellek; II. – hálózatosan kapcsolt elemeket tartalmazó modellek

to each other by using advective and diffusive connections. Longitudinal dispersion<sup>7</sup>, matrix diffusion and immobile zones not connected to the flow path can all be considered within the pipe elements.

The system presented here (Figure 5) can be considered to be such a table where one of the component is defined by the model element in usage (mixing cell, pipe, or some combination of the two) and the other is the most important characteristic of how the system is connected (single element, or the elements are connected to each other in a serial or parallel pattern, or a whole network of elements is created). Generally it can be said that for the implementation of the complex flow system existing at the site only approaches having more than just a few elements can be used efficiently, but at the same time the implementation and parametrisation of these approaches means severe problems and evaluating their results is also problematic.

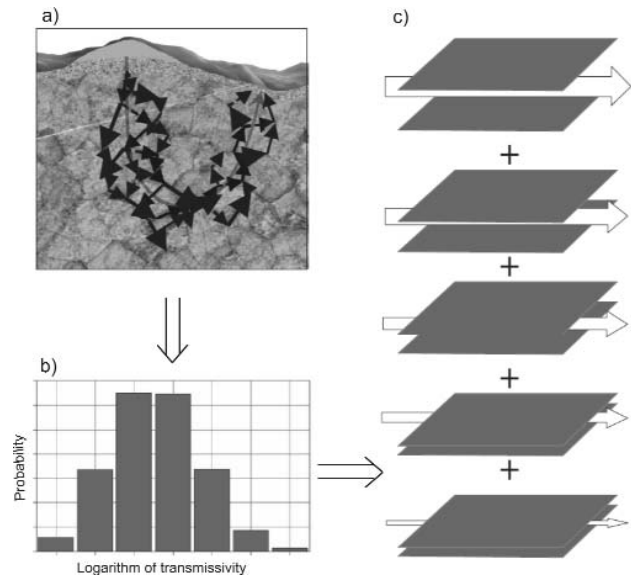
For the investigation of the contaminant transport taking place at the Bataapáti Site the effects of advection, diffusion, matrix diffusion, radioactive decay, sorption and possibly even precipitation should be considered, and to achieve this such elements must be selected from the system which meet all (or at least most) of these criteria. Besides, it is worth examining the individual mathematical solutions from the perspective of whether they are capable of handling spatial variability or transport pathways characterised by different properties existing in parallel to each other. The modelling approaches that meet all of these criteria are the following (codes in paranthesis identify their location in Figure 5):

- parallel pipes (B–I.b),
- parallel series of mixing cells (A–I.a+I.b),
- parallel pipes and series of mixing cells (A+B–I.a+I.b),
- systems containing both pipes and series of mixing cells connected parallel to each other (A+B–I.a+I.b),
- series of pipes connected parallel to each other (B–I.a+I.b).

Since pipes are not capable of handling diffusion, so only those model variations can be used for the description of areas with very low hydraulic gradients which contain mixing cells (also). At the same time, to consider matrix diffusion it is necessary to use either pipes or to use such models in which mixing cells located perpendicular to the flow are connected diffusively to mixing cells representing the main pathway.

### Mathematical Implementation of the Pathways (H12)

For the description of the contaminant transport taking place in the background fracture network (Figure 6, a) the one-dimensional parallel pathway approach is used, which was developed by the Japan Nuclear Cycle Development



**Figure 6.** Flowchart of the one-dimensional parallel pathway approach (the B–I.b model according to Figure 5)

**a)** contaminant transport through fracture network (black arrows = transport through fractures with different transmissivity), **b)** discretisation of transmissivity distribution derived from site investigations into transmissivity classes, **c)** mathematical implementation of the transmissivity classes by using different sized parallel planes (white arrows = flow rate)

### 6. ábra. „Egydimenziós több árapályás” megközelítés folyamatábrája (B–I.b modell az 5. ábra szerint)

**a)** a repedéshálózaton keresztül történő szennyezőanyag-transzport (fekete nyilak = a különböző transzmisszivitású repedéseken keresztül megvalósuló transzport), **b)** a terepi vizsgálati eredmények diszkrétizálásával származtatott transzmisszivitás osztályok, **c)** különböző apertúrájú, párhuzamos síkokkal leképezett transzmisszivitás osztályok matematikai leírása (fehér nyilak = hozamok)

Institute (JNC) based on the experience from the Kamaishi Mine. This approach is equal to the model variation of the above mentioned modelling approach system, in which only pipes are used and they are connected parallel to each other (B–I.b in Figure 5). This model—as it was published in the safety report (JNC 2000) codenamed H12—is going to be referred to as the H12 model hereafter. The main idea of this model is that the theoretical (continuous) distribution of the transmissivity—which is assessed based on the results of hydraulic tests carried out at the site—is discretised (divided) into integral number of equally wide bins (transmissivity or fracture classes) on the logarithmic scale (Figure 6, b). The elements derived from this process are used for the characterisation of the individual pathways (Figure 6, c). The length of the pathways is equal to the total length of the investigated area, whereas the transmissivity and its relative probability<sup>8</sup> are used to derive other parameters for the pipes. The most important of those is the flow rate that gets through the individual pathways and is equal to the product of the total flow rate reaching the pathways and the probability of the given pathway.

<sup>7</sup> The spreading of the contaminants in the main direction of the flow is called the longitudinal dispersion. The spreading perpendicular to the flow is the transversal dispersion.

<sup>8</sup> The summary results of transmissivity measurements provided by hydraulic packer test investigations over 10 m long borehole intervals can be characterised by their relative frequencies

This approach makes it possible to implement models describing the transport processes in the fracture network in the GoldSim environment relatively easily and based directly on the results originating from investigations carried out at the site. Since the parameters for the pathways are derived from the most important properties describing them (the transmissivity and probability of the given pathway), therefore the transport of contaminants through the individual pathways are modelled with different speed and with different quantities. By summing up these, the breakthrough curve describing the whole area can be calculated.

### Validation of the Mathematical Model

For the H12 model to be used reliably during the performance assessment for the Bábaapáti Site first it had to be validated. This was achieved by developing a three-dimensional site-independent DFN model (BENEDEK et al. 2003) in the FracMan environment with simple geometry and boundary conditions but with a fracture system similarly complex to the one at the site, and the reproduction of this in GoldSim (BÓTHI et al. 2005). The reproduction in the GoldSim was done as described in the earlier section.

The main characteristics of the DFN model: a  $20 \times 20 \times 20$  m cube at the centre was the source within a  $200 \times 200 \times 200$  m block, 1% of hydraulic gradient was defined from one face of the block towards the side facing it, two fracture groups were defined whose spatial distribution was defined using Fisher distribution, their extent was calculated from power distribution, their transmissivity was defined as lognormal distribution and their aperture was derived from the transmissivity by using the "cubic law". This model was used to investigate the transport time<sup>9</sup> needed to get from the source to the discharge area by using particle tracking (Figure 7). To be able to reproduce this in GoldSim environment an H12 model had to be developed, for which the flow rate through all the pathways had to be determined and finally the length of the pathways had to be given. Having successfully developed the model the summarised transport time distribution for the parallel pathways became available; this was then compared to the results obtained from the three-dimensional DFN model (Figure 8) and that lead to the conclusion that the approach used was able to reproduce the results with adequate accuracy, and therefore it can be reliably used in the performance assessment.

Following this the H12 model has been used successfully on several occasions for the description of contaminant transport in the background fracture network within the framework of the geosphere model used for the performance assessment (BÉRCI et al. 2007, BÓTHI, TAKÁCS 2009), and the same approach was used to evaluate the results of tracer tests (MOLNÁR et al. 2008a, b). This last application makes it

<sup>9</sup> Transport time is the time required for the water particle to move between two points (in this case between the repository and the discharge point) along the pathway.

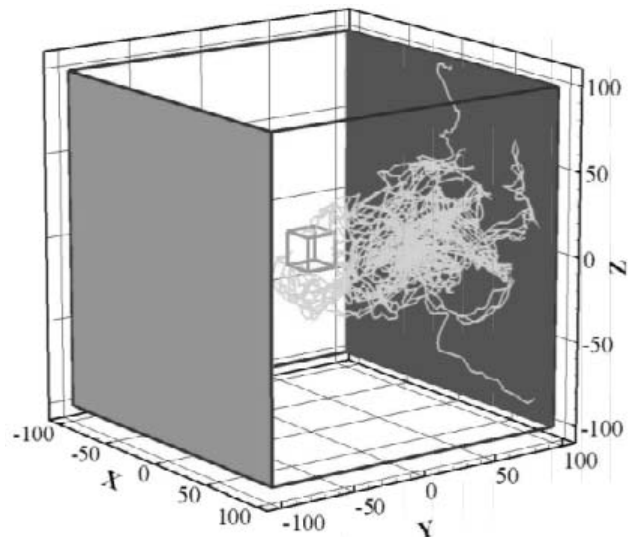


Figure 7. Migration pathways from a central source for the site-independent DFN model

Units are in metres. The hydraulic potentials defined as boundary conditions are represented by shaded planes. The particles were released from the central small cube and their migration pathway through the generated fracture network is presented by the grey lines

### 7. ábra. A telephelyfüggetlen DFN-modell terjedési útvonalai a központi forrásból kiindulva

Az ábrán a koordináták méterben értendők. A peremfeltételként megadott hidraulikus potenciált színezett felületek jelölik. A közpén lévő kis kockából indítottak a részecskéket, melyek terjedési útvonalát a generált repedésrendszeren keresztül a szürke vonalsereg mutatja

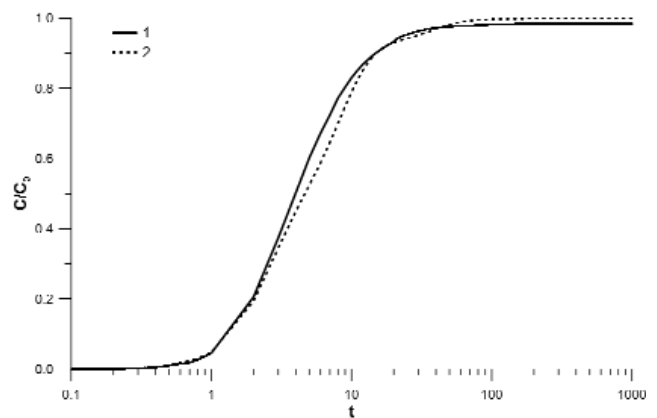


Figure 8. Validation of the H12 model approach by displaying the results of the DFN model (BÓTHI et al. 2005)

$t$  = model time,  $C/C_0$  = cumulative mass recovery as relative concentration; 1 – cumulative mass recovery curve for the DFN model, 2 – cumulative mass recovery curve for the H12 model

### 8. ábra. A H12 modellezési megközelítés validálása a kialakított DFN-modell eredményeinek visszaadásával (BÓTHI et al. 2005)

$t$  = modellezett idő,  $C/C_0$  = halmozott kihozatal relatív koncentrációként; 1 – a DFN-modell halmozott kihozatali görbéje, 2 – a H12 modell halmozott kihozatali görbéje

possible that site-specific hydraulic and transport parameters can be determined based on site investigations, and the parameters determined this way can be later applied directly and without any conversion to be used in the performance assessment.



### *Development of the Pathway Model (H12)*

The H12 model (B–I.b in Figure 5) was developed to describe the fundamentally advective-dispersive type transport processes taking place in the fracture network of crystalline bedrocks. Extreme low hydraulic gradient is assumed to develop after the final closure of the repository at the Bataapáti Site (if the compartmentalised hydrogeological conditions are restored), and consequently the significance of diffusive transport processes may increase in comparison to advection, or even they may become dominant. Since the simple H12 model containing pipe elements cannot handle diffusion this forced to modify and develop it.

That is the reason why the model codenamed H12+ was developed (BÓTHI et al. 2008b), which contains series of mixing cells connected in parallel rather than using pipes in a parallel configuration (A–I.a+I.b in Figure 5). This approach makes it possible to consider both the advective and the diffusive contaminant transport through the series of cells (which represent the individual pathways along the fractures with different transmissivity). By determining the Peclet-number<sup>10</sup> it is also possible to use as many mixing cells connected in the series as is necessary to adequately describe the longitudinal dispersion. But this model is not yet capable of implementing matrix diffusion although previous investigations showed that it is one of the most efficient retardation processes at the site. This problem could be solved by defining cells sideways from the main series of mixing cells connected to them only by diffusion. In this way the mixing cells connected serially (with advective and diffusive connections between them) represent the fracture itself whereas the cells connected to them sideways (with only diffusion) represent the rock matrix volume affected by matrix diffusion.

The parameters needed to use the pathway model described above can be divided into three groups:

- geometrical properties;
- hydraulic conditions;
- transport parameters.

The information for all three groups of parameters is coming basically from site investigations and their evaluations and from results of hydrogeological models developed based on those and also from international literature.

The basic geometrical properties—such as the length of the total pathway and within that the length of the more and less conductive zones—can usually be determined easily by geometrical calculations and estimations, and these values then can be validated by the results of either DFN or continuum hydrogeological models. The characteristic geometrical parameters of the pipe or mixing cell elements used in the mathematical model can be derived from this. It is much more difficult to determine those geometrical properties which have a direct influence on the transport of contaminants like the aperture distribution of the fractures or the depth of matrix

diffusion. These parameters can only be derived from the results (MOLNÁR et al. 2008a) of evaluation of site investigations (like tracer tests) using mathematical modelling methods and it can only be done with significant uncertainty.

The most important feature of the H12 based pathway model described above is that it calculates the transport processes taking place at site by using hydraulic parameters derived from the statistical analysis of the transmissivity distribution (JNC 2000) based on the evaluation of single-well packer tests. Consequently, the uncertainties of these hydraulic properties are determined during the interpretation of the investigations.

The most difficult part of the parametrisation of the pathway model is the determination of transport parameters. Transport processes can be divided into two groups based on the characteristics of the properties determining them: the parameters directly linked to the material properties and the characteristics describing the processes themselves. The first group includes parameters regarding the host rock (the granite and its fracture network), and the medium where the transport processes are mediated (which is the groundwater), and the materials involved in the transport (the radionuclides) and also any combination of the previous. The second group includes such site independent and general properties as water diffusivity.

From the perspective of assessing the long-term safety the most important of those parameters is the linear sorption isotherm, which describes the sorption (and therefore the retardation) of contaminants on solid materials. These values can only be determined by carrying out and evaluating tracer tests and based on their results (MOLNÁR et al. 2008a) the data from the literature can be reviewed and can be made more accurate and with it they can be made site-specific. The determination of solubility limits and the relative diffusivity (considering the characteristic chemical forms) of the radionuclides (species) requires less site-specific information (BÉRCI et al. 2007, BÓTHI et al. 2007, 2008a). But at low hydraulic gradient or for sites where the hydraulic conductivity of the host rock is low—which is the case for the Bataapáti Site under the conditions before construction—the importance of diffusive processes including matrix diffusion can increase significantly (BÉRCI et al. 2007), and so the parametrisation of those processes may become the primary question.

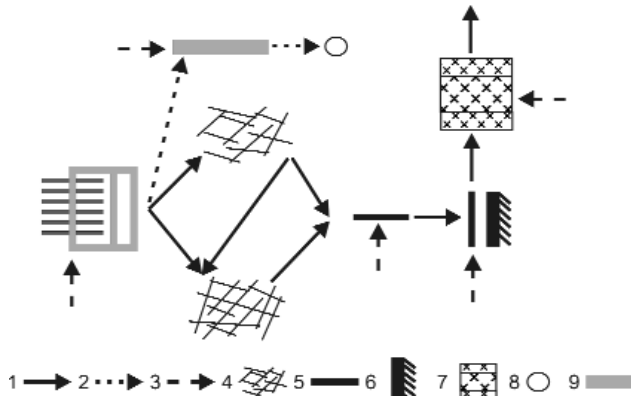
### **The Geosphere Model of the Performance Assessment**

In the previous sections the mathematical approaches used for the geosphere module of the performance assessment and their main features have been described. In the upcoming sections the actual model developed by these approaches (BÓTHI, TAKÁCS 2009) will be summarised, and some of its characteristic results will be shown.

The pore water contaminated by radionuclides and filtrating out of the chamber connects to groundwater system

<sup>10</sup>The ratio of contaminants participating in advective transport compared to the amount participating in diffusive transport at a given hydraulic potential.

of the geosphere through the EDZ. According to the system of criteria in force at the site the chambers are not allowed to penetrate and not even allowed to get within 15 m of features with a transmissivity value in excess of  $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (BÓTHI, GYÖNGYÖSI 2009, FÁBIÁN et al. 2007). Consequently, the initial part of the contaminant transport taking part in the normal geosphere is either within a less or in a more conductive zone based on the hydrogeological location of the given chamber (Figure 9). This is considered in the performance assessment by dividing the total flow rate



**Figure 9.** Conceptual scheme for the geosphere model of performance assessment

1—normal contaminant transport pathway, 2—alternative contaminant transport pathway, 3—dilution by uncontaminated waters, 4—background fracture network, 5—main water conductive feature, 6—fault seal zone, 7—weathering zone, 8—discharge point, 9—tunnel

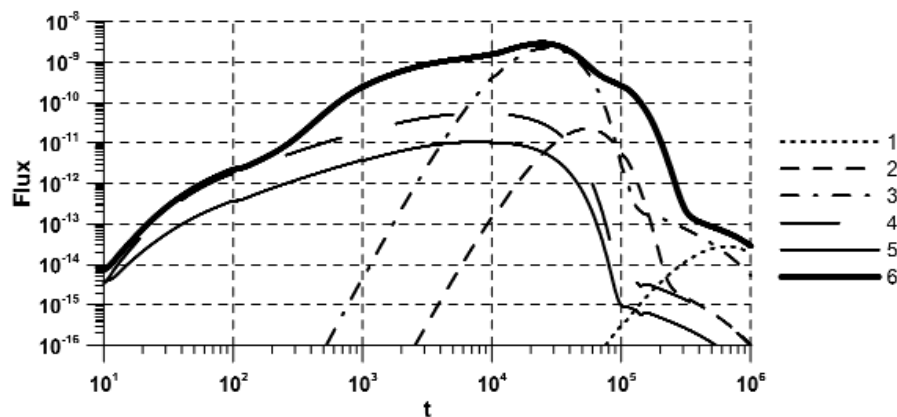
**9. ábra.** A biztonsági értékelés geoszféramodelljének koncepcionális sémája

1 – a szennyezett vizek terjedése a normál geoszféra terjedési útvonala mentén, 2 – a megközelítő vágatok mentén bekövetkező alternatív árampálya, 3 – szennyeztelen víz, 4 – jó vízvezető pászta (sűrűbb) és kevésbé jó vízvezető pászta (ritkább). 5 – jó vízvezető szerkezet, 6 – torlasztó-szigetelő szerkezet 7 – mállási öv, 8 – a szennyezett vizek felszínre lépési helye, 9 – vágat

leaving the chamber between the two types of zones by using either a deterministic factor based on the actual location of the individual chamber or by determining an average value characteristic for the whole repository. If the chamber is connected to a less conductive zone then the contaminant transport will get into a more-conductive zone shifted both temporally and spatially. These two types of components which are characteristic for the background fracture network of the granite, are implemented in the model by using the H12+ approach. Since the opportunity to separate and to characterise separately the two types of zones based on site investigations exists the properties of the pathways are derived for both of them from the transmissivity distribution characteristic for the given zone type.

The uncontaminated water infiltrating into the chamber is getting contaminated by the radionuclides released from the waste. The contaminated water gets into either into a less or a more conductive zone based on the spatial location of the individual chambers. The contaminated water can get into the more conductive zone from the less conductive zone or—similarly to what happens in the case for the more conductive zone—it can directly reach a main water-conductive feature. In the MWCF dilution occurs due to the high quantity of uncontaminated water collected by the MWCF. From here the contaminants get into the fractured zone following the fault seal where it is being diluted again. Along these zones upward flow occurs into the weathered zone of the granite where it is diluted once again, this time by the water flowing horizontally in this layer. Finally, the contaminated water reaches the surface at a spring. Transport in the EDZ along the tunnels represents an alternative migration pathway.

The contaminant transport through the fracture classes is presented here by the breakthrough curve of the chlorine isotope, which has a long half-life and behaves conservatively (Figure 10). It is evident in this figure that



**Figure 10.** Contaminant transport through individual fracture classes and for all the classes together by using the H12+ model

t = time (years), Flux = contaminant flux (mg/yr); 1—lowest-transmissivity fracture class, 2—low-transmissivity fracture class, 3—mediocre-transmissivity fracture class, 4—high-transmissivity fracture class, 5—highest-transmissivity fracture class, 6—all the fracture classes summed up

**10. ábra.** Az egyes repedésosztályokon keresztüli, illetve az összes repedésosztályra összegzett szennyezőanyag-terjedés a H12+ modell alkalmazásával.

t = az idő (év), Flux = a szennyezőanyag-fluxust (mg/év); 1 – legkisebb, 2 – közepesen kicsi, 3 – közepes, 4 – közepesen nagy, 5 – legnagyobb transzmisszivitású árampályán jelentkező fluxus, 6 – az összes repedésosztályra összegzett fluxus

certain fracture classes will become dominant in the breakthrough curve at different times; this means that their significance changes with time. The fracture classes with the highest transmissivity, which therefore represent the fastest pathways, define the flux of contaminants in the first few thousand years but their maximum is lower than the peak caused by the fracture classes which have mediocre transmissivity but have the highest abundance and appear between 10,000 and 100,000 years. The high-transmissivity fractures are almost totally depleted by 100,000 years, whereas the fractures with the lowest transmissivity and therefore with the slowest migration speed only start to appear then.

The breakthrough curve of  $^{36}\text{Cl}$  is used also to illustrate the significance of matrix diffusion (Figure 11). By comparing the amount of material in the series of mixing cells representing the fracture in the H12+ type model with the amount which has diffused into the matrix it can be concluded that the matrix—due to its volume being orders of magnitude bigger than that of the fractures—can retard

high transmissivity and large extension, and along which they are transported towards the discharge points relatively quickly. This MWCF is implemented in the model by a single pipe element as it makes it possible to model the advective-dispersive transport easily and effectively. The most determining property of the pipe element is its transmissivity, which is assumed to be  $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  in the model; this equals the value generally agreed to describe the highly transmissive features at the site.

The MWCFs are connected into the highly fractured zones following the sealing zones with also high conductivity (Figure 9). These are implemented in the model as parallel pipes following the H12 type approach. While the transmissivity distribution describing the background fracture network is usually divided into nine transmissivity classes, these zones are implemented by defining only three parallel pathways (BÓTHI, TAKÁCS 2009). The reason for this is that the variability of the transmissivity distribution here is many orders of magnitude lower than what the case is for the background fracture network. At the same time the average

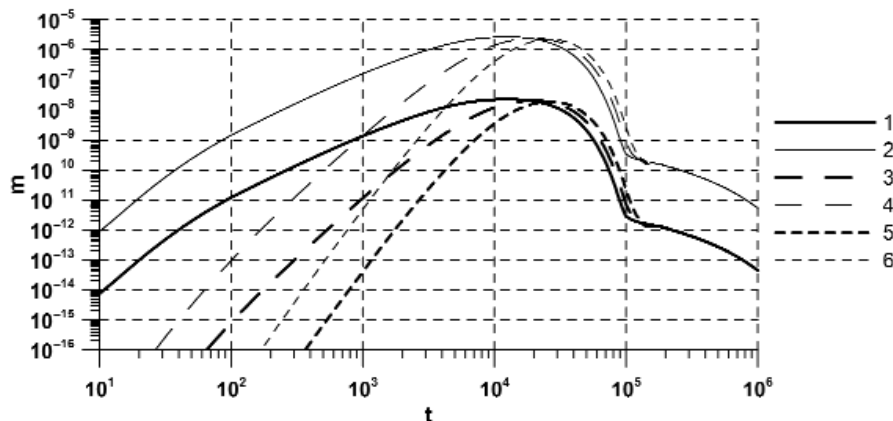


Figure 11. Amount of contaminant at different distances from the source for a given fracture class and for the matrix it is connected to with matrix diffusion

t = time (years), m = amount of contaminants (mg); 1—fracture close to the source, 2—matrix close to the source, 3—fracture at middle distance, 4—matrix at middle distance, 5—fracture far from the source, 6—matrix far from the source

11. ábra. Egy adott osztályú repedésben, illetve az azzal mátrixdiffúziós kapcsolatban álló térrészen belül jelentkező anyagmennyiség az árampálya egyes pontjain.

t = idő (év), m = szennyezőanyag-mennyisége (mg); 1 – forráshoz közeli törés, 2 – forráshoz közeli mátrix, 3 – közepes távolságban lévő törés, 4 – közepes távolságban lévő mátrix, 5 – forrástól távoli törés, 6 – forrástól távoli mátrix

quantities of material manifold the amount being transported in the fracture, although the concentration in the two components must be the same due to the diffusive link between them. It is also evident that almost identical amount of material exists in the fracture and in the matrix along the migration pathways and that means that the effect of spatial dislocation becomes insignificant (that is the reason why the amount of material within the fracture and in the matrix of the element furthest away from the source is hardly visible in the figure because it is overlapped by the preceding one).

As it was mentioned earlier, sooner or later the contaminants from the background fracture network reach the main water-conductive features (Figure 9), which have

transmissivity of the individual transmissivity classes are much higher compared to the less or more conductive zones. So, an artificially created transmissivity distribution is used for the characterisation of these zones, which is derived from the transmissivity distribution determined for the background fracture network by truncating it by neglecting its smallest values and with it shifting it towards the higher values.

The contaminated water flows upwards alongside the fault seal zones towards the surface discharge points represented by springs visible at the area. Before it reaches the surface it gets into the zone of the weathered granite (Figure 9) and it is significantly diluted there by the

uncontaminated water flowing horizontally in it. The layer of weathered granite is implemented in the model as a series of mixing cells that enables the consideration of sorption taking place there. The effective dose in the biosphere is calculated by multiplying the activity concentration of the contaminated water in the spring by dose conversion factors<sup>11</sup>.

## Conclusions

The detailed geological-hydrogeological-geotechnical information and the results of interpretations based on it enabled the development of performance assessment models which consider the characteristic features of the Bábaapáti Site to predict the contaminant transport occurring in the geosphere. By evaluating the conceptual hydrogeological model developed for the site it was possible to determine the main characteristics of the groundwater flow system developing after the closure of the repository and its possible evolution depending on the quality of bulkheads constructed in the tunnels.

The geosphere model of the performance assessment which considers the radionuclide transport through the background fracture network (both in case of the less and for the more conductive zones), and through the extensive and highly transmissive fault zones (MWCF), and along the fault seal zones generating the characteristic hydrogeological compartmentalisation of the site was developed by using the conceptual model. The geosphere model developed this way provides a proper basis for the reliable prediction of the long-term safety of the repository, and for defining criteria regarding elements of the EBS in the next step of the iterative process to develop an optimised disposal system.

<sup>11</sup> The effective dose caused by unit activity concentration of a given isotope and for a given radiation pathway by considering human properties is called the dose conversion factor.

The fault seal zones are the most important of the components of the geological barriers as they determine the extremely low flow rates characteristic of the groundwater flow system for the conditions before construction and by that they delay and decrease the flux of contaminants released from the repository towards the biosphere. The background fracture network of the granite plays the main role in retarding the contaminants and to investigate what happens there a mathematical model was developed for the performance assessment that uses the results of site investigations accurately, directly, and in detail. To achieve this the possible connection system of the two elementary elements, the mixing cell and the pipe, provided by the GoldSim modelling environment for the implementation of contaminant migration was reviewed and analysed and from them the further developed model variation using parallel series of mixing cells based on the H12 approach was selected. This approach was successfully used for the evaluation of the total disposal system during performance assessments as well as for the interpretation of results coming from tracer tests carried out on site that means determining the site-specific transport properties.

## Acknowledgement

The investigations and evaluations presented in this article were carried out in connection with the investigation and construction activities—financed by the Public Limited Company for Radioactive Waste Management (Puram) from the Central Nuclear Financial Fund—of the National Radioactive Waste Repository (NRWR) at the Bábaapáti Site. The authors would like to thank Puram for providing the necessary conditions to carry out the work and also all of the experts who are involved in the geological-hydrogeological-geotechnical investigations for their contributions in the detailed understanding and high-level interpretation of the site.

## References — Irodalom

- BALLA Z., GYALOG L. 2009: A Mórággyi-rög ÉK-i részének földtana. Magyarország tájegységei térképsorozata. Magyarázó (The geology of NE part of the Mórággy Block. Map series for the sites of Hungary. Explanatory notes). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- BALLA Z., ALBERT G., CHIKÁN GY., DUDKO A., FORIÁN SZABÓ M., FÖLDVÁRI M., GYALOG L., HAVAS G., HORVÁTH I., JÁMBOR Á., KAISER M., KOLOSZÁR L., KOROKNAI B., KOVÁCS-PÁLFFY P., MAROS GY., MARSÍ I., PALOTÁS K., PEREGI ZS., RÁLISCH E., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., SZÓCS T., TÓTH GY., TURCZI G., PRÓNAY ZS., VÉRTESY L., ZILÁHI-SEBESS L., GALSA A., SZONGOTH G., MEZŐ GY., MOLNÁR P., SZÉKELY F., HÁMOS G., SZŰCS I., TURGER Z., BALOGH J., JAKAB G., SZALAI Z. 2003: A felszíni földtani kutatási zárójelentése (in Hungarian, translated title: Final report of the surface geological investigations). — *Manuscript (kézirat)*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- BENEDEK K., MOLNÁR P., MÉSZÁROS F. 2003: Vízföldtani modellezés. FracMan modell (in Hungarian, translated title: Hydrogeological modelling. FracMan model). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BENEDEK K., ÁCS V., BAJNA ZS., BÓTHI Z., MEZŐ GY., MOLNÁR P., SIDLÓ T., TÓTH GY. 2007a: Létesítést megelőző biztonsági értékelés, vízföldtani modellezés összefoglaló jelentése (in Hungarian, translated title: Summary report of the hydrogeological modelling for the Performance Assessment for Construction License). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.

- BENEDEK K., BÓTHI Z., DANKÓ GY., MEZŐ GY., MOLNÁR P., SIDLÓ T., SZABÓ ZS. 2007b: Üzembehelyezést megelőző biztonsági értékelés vízföldtani modellezés jelentései [I. kötet] (in Hungarian, translated title: Hydrogeological modelling reports for the Performance Assessment for Operational License [Volume I]). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BENEDEK K., BÓTHI Z., DANKÓ GY., SZABÓ ZS., PARIS B., GEIGER J. 2008a: Üzembehelyezést megelőző biztonsági értékelés vízföldtani modellezés jelentései [III. kötet] (in Hungarian, translated title: Hydrogeological modelling reports for the Performance Assessment for Operational License [Volume III]). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BENEDEK K., MEZŐ GY., SIDLÓ T., SZABÓ ZS. 2008b: Üzembehelyezést megelőző biztonsági értékelés vízföldtani modellezés jelentései [II. kötet] (in Hungarian, translated title: Hydrogeological modelling reports for the Performance Assessment for Operational License [Volume II]). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BENEDEK, K., BÓTHI, Z., MEZŐ, GY., MOLNÁR, P. 2009: Compartmented flow at the Bataapáti site. — *Hydrogeology Journal* 17 (5), pp. 1219–1232.
- BÉRCI K., GYÖNGYÖSI P., HAUSZMANN ZS., PINTÉR D., PÓLÓ K., RESZLER H., ROMENDA T., ROSENFELD S., TAKÁCS T., ZÁBRÁDINÉ FÜZESI K., DANKÓ GY., BENEDEK K., BÓTHI Z., LUGOSI K., MEZŐ GY., MOLNÁR P., TUNGLI GY., GOLDSWORTHY, M., PARIS B., FODOR J., SEBESTYÉN Z., VARGA Z. 2007: Létesítést megelőző biztonsági jelentés (in Hungarian, translated title: Performance Assessment for Construction License). — *Manuscript (kézirat)*, ETV-Erőterv, Budapest.
- BÓTHI, Z. 2010: Effects of compartmentalized hydraulic conditions on geological disposal systems. — *Conference proceedings, International Joint Conference on Computational Cybernetics and Technical Informatics (ICCC-CONTI)*, 2010, Timișoara, Romania, pp. 287–293
- BÓTHI Z., GYÖNGYÖSI P. 2009: Tervezési kritériumrendszer felülvizsgálata (in Hungarian, translated title: Review of design criteria). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BÓTHI Z., TAKÁCS T. 2009: Lakossági sugárterhelés számítása (in Hungarian, translated title: Calculation of human doses). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BÓTHI Z., DANKÓ GY., BÉRCI K., TAKÁCS T., FODOR J. 2005: Az összegző biztonsági modellek összevetése (in Hungarian, translated title: Comparison of summary performance assessment models). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BÓTHI Z., DANKÓ GY., PARIS B., GOLDSWORTHY, M., EGED K., KIS Z., BÉRCI K., TAKÁCS T., MESTER J., JUHÁSZ L., SZABÓ G., KÓNYA J., NAGY N., SEBESTYÉN Z., FODOR J. 2007: Modelleket, programokat és adatokat bemutató jelentés (in Hungarian, translated title: Report on models, programs and data). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BÓTHI Z., BAKSAY A., DANKÓ GY., S. TOMBOR K. 2008a: Modelleket, programokat és adatokat összefoglaló jelentés (in Hungarian, translated title: Summary report of models, programs and data). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BÓTHI Z., BAKSAY A., DANKÓ GY., S. TOMBOR K., KIS Z., FODOR J., SEBESTYÉN Z., VARGA Z., JUHÁSZ L., KERÉKES A., TAKÁCS T. 2008b: Üzembehelyezést megelőző biztonsági értékelés modell felülvizsgálat és fejlesztés (in Hungarian, translated title: Model review and development for the Performance Assessment for Operational License). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- BÓTHI Z., BENEDEK K., DANKÓ GY., S. TOMBOR K., GOLDSWORTHY, M., PARIS, B. 2008c: A biztonsági értékelés geoszféramodelljének aktualizálása (in Hungarian, translated title: Review of geosphere model used in performance assessment). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- FÁBIÁN M., BAKAINÉ PAPP K., TARI Z., BOGÁR J., BRANDMÜLLER I., BUÓCZ ZS., KESZERICE V., KOVÁCS L., LIVO L., MÁTRAI C., MOLNÁR I., MOLNÁR P., SZEBÉNYI G., VÁSÁRHELYI B., VICZENCZ O. 2007: A Bataapáti telephelyen létesülő nemzeti radioaktív hulladék-tároló felszín alatti létesítményeinek műszaki tervdokumentációja (in Hungarian, translated title: Technical design documentation for the underground facilities of the National Radioactive Waste Repository to be constructed at the Bataapáti Site). — *Manuscript (kézirat)*, Fábíán & Fábíán, Budapest.
- GoldSim Technology Group 2006: GoldSim Contaminant transport Module. — GoldSim Technology Group, Seattle.
- GoldSim Technology Group 2007: GoldSim. User's Guide. — GoldSim Technology Group, Seattle.
- GOLDSWORTHY M., DANKÓ GY., FODOR J. 2004: Probabilistic and fuzzy approach to safety assessment for the Bataapáti (Üveghuta) Site (A Bataapáti (Üveghutai)-telephely valószínűségi és fuzzy-módszerrel történő biztonsági értékelése). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 503–518.
- GYALOG L., TÖRÖK P. 2010: Drilling of Boreholes in the Frame of the Underground Exploration and their Geological Logging in the Bataapáti Site (A felszín alatti kutatás fúrásainak mélyítése és földtani dokumentálása a Bataapáti-telephelyen). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2009*, (this volume [jelen kötet]).
- GYÖNGYÖSI P. 2008: A konténerek optimális elhelyezhetőségének vizsgálata (in Hungarian, translated title: Investigation of optimal placement of containers). — *Manuscript (kézirat)*, ETV-Erőterv, Budapest.
- JNC 2000: Safety Assessment of the Geological Disposal System, H12: Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan. — *Manuscript (kézirat)*, Japan Nuclear Cycle Development Institute, Tokai-Mura.
- KORPAI F., ANDRÁSSY M., MOLNÁR P., SIDLÓ T. 2009: EDZ-fúrások pakkeres hidraulikai vizsgálata (in Hungarian, translated title: Packer hydraulic test of EDZ boreholes). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- KOVÁCS B., BÓTHI Z., DANKÓ GY. 2010: Lezárási koncepció fejlesztése (in Hungarian, translated title: Development of concept for final closure). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- MAROS, GY., KOROKNAI, B., PALOTÁS, K., FODOR, L., DUDKO, A., FÓRIÁN SZABÓ, M., ZILÁHI-SEBESS, L., BÁN-GYÖRGY, E. 2004: Tectonic analysis and structural evolution of the north-eastern Mórág Block (A Mórág-Block ÉK-i részének tektonikai elemzése és szerkezetalakulása). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 387–394.
- MEZŐ GY. 2010: Az első két kamra engedélyezését megalapozó vízföldtani modell (in Hungarian, translated title: Hydrogeological model for the basis of licensing the first two chambers). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.

- MEZŐ GY., BENEDEK K. 2007: Telephelykörnyéki áramlási és transzportviszonyok értékelése (in Hungarian, translated title: Interpretation of flow and transport conditions at the site). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- MOLNÁR P., BENEDEK K., BÓTHI Z., KORPAI F., MEZŐ GY., S. TOMBOR K. 2008a: Transzportparaméterek meghatározása (in Hungarian, translated title: Determination of transport parameters). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- MOLNÁR P., MEZŐ GY., BENEDEK K., BÓTHI Z., S. TOMBOR K. 2008b: Nyomjelzések anyagvizsgálatok kiértékelése különböző módszerekkel (in Hungarian, translated title: Evaluation of tracer tests using different methods). — *Manuscript (kézirat)*, Golder Associates, Budapest.
- ROTÁR-SZALKAI, Á., HORVÁTH. I., MARSÓ, K., MURÁTI, J., NAGY, P., SZŐCS, T., TÓTH, GY. 2004: Recharge and discharge conditions in the north-eastern Mórággy Block (Utánpótlási és megcsapolási viszonyok a Mórággyi-rög ÉK-i részén). — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 407–426.
- SZEBÉNYI G., HÁMOS G., ANDRÁS E., TÖRÖK P., MAJOROS GY., SZAMOS I., MOLNÁR P., KOVÁCS L. 2009: Összefoglaló értékelő jelentés a felszín alatti létesítés tervezése és a biztonsági értékelés számára (in Hungarian, translated title: Summary assessment report for the design of underground facilities and for the performance assessment). — *Manuscript (kézirat)*, Mecsekérc, Pécs.