Földtani Közlöny

136/4 A Magyarhoni Földtani Társulat folyóirata

BULLETIN OF THE HUNGARIAN GEOLOGICAL SOCIETY

Budapest, 2006

Földtani Közlöny

A Magyarhoni Földtani Társulat folyóirata

Bulletin of the Hungarian Geological Society

Vol. 136/4

Budapest
ISSN 0015-542X

Felelős kiadó
HAAS János
A Magyarhoni Földtani Társulat elnöke

Főszerkesztő
CSÁSZÁR Géza

Editor-in-charge
János HAAS
President of the Hungarian Geological Society

Editor-in-chief
Géza CSÁSZÁR

Technikai szerkesztők
PIROS Olga
KRIVÁNNÉ HORVÁTH Ágnes
Nyelvi lektor: Philip RAWLINSON

Technical editors
Olga PIROS
Ágnes KRIVÁN-HORVÁTH
Language editor: Philip RAWLINSON

Szerkesztőbizottság
Elnök: HAAS JÁNOS
FODOR László, GRESCHIK Gyula, PALOTÁS Klára, PAPP Gábor, SZTANÓ Orsolya, VÖRÖS Attila

Editorial board
Chairman: János HAAS
László FODOR, Gyula GRESCHIK, Klára PALOTÁS, Gábor PAPP, Orsolya SZTANÓ, Attila VÖRÖS

Főtámogató
MOL Rt.

Sponsor
MOL Rt.

A kéziratokat az alábbi címre kérjük küldeni

PIROS Olga, 1442 Budapest, Pf. 106.

Manuscripts to be sent to

Olga PIROS, 1442 Budapest, P. O. box 106.

Földtani Közlöny is abstracted and indexed in **GeoRef** (Washington) **Pascal Folio** (Orleans) **Zentralblatt für Paläontologie** (Stuttgart), **Referativny Zhurnal** (Moscow) and **Geológiai és Geofizikai Szakirodalmi Tájékoztató** (Budapest)

Földtani Közlöny 136/4, 465–485. (2006) Budapest

A Rezi Rzt–1 fúrás felső-triász képződményeinek szervetlen geokémiai jellemzői (Kösseni Formáció, Keszthelyi-hegység): őskörnyezeti tanulmány

Inorganic geochemical characteristics of the Upper Triassic rocks from borehole Rezi Rzt–1 (Kössen Formation, Keszthely Mountains, Hungary): a palaeoenvironmental study

RAUCSIK Béla[1] – VARGA Andrea[2] – PETERDI Andrea[1]

(9 ábra, 4 táblázat)

Tárgyszavak: bitumenes márga, őskörnyezet, anoxia, nori–rhaeti, Dunántúli-középhegység
Keywords: bituminous marl, palaeoenvironment, anoxia, Norian–Rhaetian, Transdanubian Range

Abstract

In this study inorganic geochemical data were used to elucidate palaeodepositional environments for Norian–Rhaetian bituminous marls (Kössen Formation) in the Transdanubian Range of Hungary. Using X-ray fluorescence and atomic absorbance spectrometric analyses and previously published total organic carbon (TOC) data of the core samples from borehole Rezi Rzt–1 (Keszthely Mountains), the following were compared major and trace-element patterns, sulphur (S), carbon (C), and selected redox-sensitive trace-element relationships.

Relative to the post-Archean Australian average shale (PAAS), which provides a consistent normalising scheme for the geochemistry of fine-grained sedimentary rocks, major and trace element enrichment factors — both of the lower (201.0–265.0 m) and middle interval (73.0–201.0 m) of the Kössen Formation from the Rzt–1 core — generally show similar distribution patterns. In the TOC–S crossplot, a strong positive correlation (r=0.82) may indicate a C-limited marine depositional system. However, the C–S–Fe relationships (e.g. TOC–S plot, Fe_{tot}–TOC–S ternary diagram and DOP [degree of pyritization] values) and Al-normalised redox-sensitive trace metal distributions (Cu, Ni, Pb, Zn, Cr and Co), suggest that the lower and middle interval of the Kössen Formation accumulated under variable bottom-water conditions. Persistently anoxic conditions (with a strongly stratified water column) prevailed during accumulation of the lower interval of the Kössen Formation. Palaeoredox conditions may have been intermittently dysoxic and anoxic during the deposition of the lower part of the Kössen middle interval; and it is likely that conditions ranged from dysoxic to oxic, possibly being close to normal marine conditions during times of accumulation of the uppermost part of the Kössen middle interval.

Összefoglalás

Tanulmányunkban a Dunántúli-középhegységből származó nori–rhaeti bitumenes márgák (Kösseni Formáció) szervetlen geokémiai adatait használtuk fel az üledékképződés őskörnyezeti viszonyainak jellemzésére. A Rezi Rzt–1 fúrás (Keszthelyi-hegység) maganyagának röntgen fluoreszcens és atomabszorpciós spektrometriás vizsgálati eredményeit, valamint korábban publikált összes szerves szén (TOC) adatokat felhasználva a fő- és nyomelemek eloszlását, a kén, a vas, továbbá bizonyos redoxérzékeny nyomelemek dúsulási viszonyainak összefüggéseit hasonlítottunk össze.

Az átlagos archaikum utáni ausztráliai agyagpala („post-Archean Australian average shale" – PAAS) összetételhez képest, amely a finomszemcsés üledékes kőzetek geokémiai vizsgálatakor leggyakrabban használt viszonyítási alap, az Rzt–1 fúrásban a Kösseni Formáció alsó (201,0–265,0 m) és középső

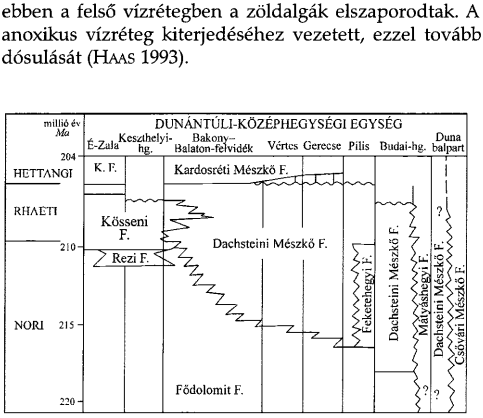
[1]Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10,
e-mail: raucsik@almos.vein.hu
[2]ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/C,
e-mail: raucsikvarga@freemail.hu

(73,0–201,0 m) szakaszát képviselő minták fő- és nyomelem dúsulási tényezői hasonlóak. A TOC–S diagram adatai között kitűnő korreláció (r=0,82) mutatható ki. A C–S–Fe kapcsolatrendszer (TOC–S diagram, Fe_{tot}–TOC–S diagram, DOP [„degree of pyritization" – a piritesedés mértéke] viszonyszámok) és a redox-érzékeny fémek (Cu, Ni, Pb, Zn, Cr és Co) Al-ra normált arányai alapján azonban a Kösseni Formáció alsó és középső szakasza változó oxigén-ellátottságú aljzatvízben halmozódott fel. A Kösseni Formáció alsó szakaszának kialakulásakor erősen rétegzett vízoszloppal és tartós anoxikus környezeti feltételekkel számolhatunk. A középső szakasz alsó részének képződése idején váltakozó diszoxikus, illetve anoxikus redox őskörnyezet lehetett. A középső szakasz legfelső részének lerakódásakor valószínűleg diszoxikus–oxikus (a normál tengerihez hasonló) paleoredox környezet állhatott fenn.

Bevezetés

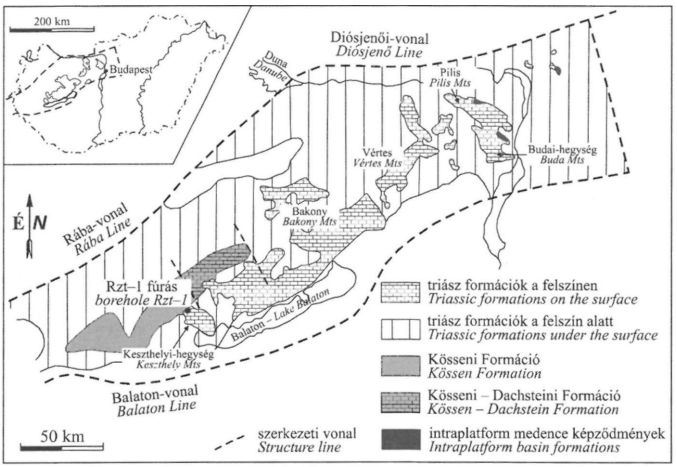
A hazai kőzetrétegtani egységek meghatározásakor a Kösseni Formáció elnevezést – az alpi típusterületek kifejlődéseihez hasonlóan – a késő-triászban az oxigénhiányos intraplatform medencében létrejött, márgás–karbonátos képződményekre alkalmazzák a Dunántúli-középhegységben (Haas 1993, 2004). A felső-nori–középső-rhaeti Kösseni Formációt (*1. ábra*) a Dunántúli-középhegységben sötétszürke, felszíni körülmények között barnásszürkére fakuló agyagmárga, márga, mészmárga, kőzetlisztes márga és dolomárga építi fel. A medence-, illetve platformfáciesek (Rezi Dolomit vagy Dachsteini Mészkő) felé átmenetet mutató szakaszokon dolomit- vagy mészkő-betelepüléseket tartalmaz. Az egykori üledékgyűjtő medence belső részén (pl. Zalai-medence aljzata) sötétszürke vagy fekete pelites kifejlődése ismert, amelyben mészkő-betelepülések és kagylólumasellás padok jelennek meg (Haas 1993, 2004).

A Kösseni Formáció keletkezése (lito- és biofácies jellegei alapján) egy, a szárazulathoz – azaz az állandó terrigén anyagforráshoz – közeli, kis energiájú extenziós üledékgyűjtőben ment végbe, ahol a lejtőről folyamatos volt a platform eredetű üledék víz alatti gravitációs átülepedése (Haas 1993, 2004). Az oxigénhiányos Kösseni-medence felső vízrétege állandó kapcsolatban volt a nyílt tengerrel, ezért ebben a felső vízrétegben a zöldalgák elszaporodtak. A szervesanyag bomlása az anoxikus vízréteg kiterjedéséhez vezetett, ezzel tovább erősítve az anoxia állandósulását (Haas 1993).



1. ábra. A felső-triász Kösseni Formáció rétegtani helyzete Haas (2004) alapján. (K. F. Kardosréti Mészkő Formáció)

Fig. 1 Lithostratigraphic position of the Upper Triassic Kössen Formation after Haas (2004). (K. F. Kardosrét Limestone Formation)



2. *ábra.* Felső-triász képződmények a Dunántúli-középhegységi-egységben a mintagyűjtés helyének feltüntetésével (HAAS 2002 alapján)

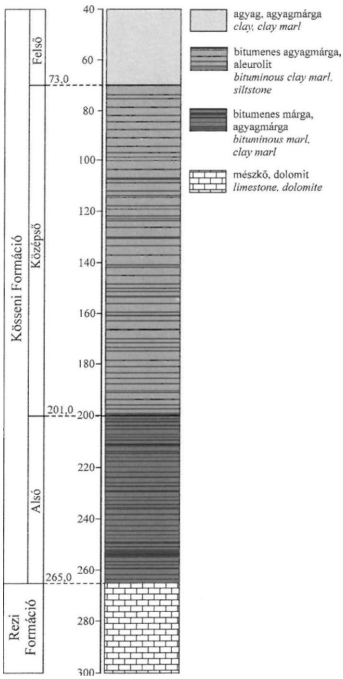
Fig. 2 Upper Triassic formations in the Transdanubian Range Unit and sample locality after HAAS (2002)

A zalai szénhidrogéntelepek kutatásához kapcsolódva a Kösseni Formáció, mint potenciális anyakőzet, már korábban is az érdeklődés előterébe került (BRUKNER-WEIN & VETŐ 1986; HETÉNYI 1989, 2002; KONCZ 1990; CLAYTON & KONCZ 1994; HETÉNYI et al. 2002). A Keszthelyi-hegységben mélyített (2. *ábra*) Rezi Rzt–1 fúrás (a továbbiakban Rzt–1 fúrás) kőzetanyagának részletes szedimentológiai, őslénytani, ásványtani, szerves kőzettani és geokémiai feldolgozásával a formáció keszthelyi-hegységi kifejlődéséről jelentősen bővültek az ismereteink (GÓCZÁN 1987; HAAS 1993, 2004; VETŐ et al. 2000; HETÉNYI et al. 2002). Az üledékképződési környezet szervetlen geokémiai jellemzése azonban csak érintőlegesen valósult meg (PETERDI 2002). Tanulmányunk elsődleges célja ezért a Kösseni Formáció Rzt–1 fúrás által harántolt rétegsorának szervetlen geokémiai leírása, valamint a kapott adatok értelmezése őskörnyezeti szempontból.

A Kösseni Formáció tagolása a Rezi Rzt–1 fúrásban

A Keszthelyi-hegységben a Kösseni Formáció típusszelvényének az Rzt–1 fúrás tekinthető (*3. ábra*), amely azt 24,4–265,0 m mélységtartományban, kb. 180 m valódi vastagságban harántolta (HAAS 1993). A feltárt rétegsor késő-nori–rhaeti korú, a nori–rhaeti határ a 186,4–197,2 m közötti szakaszon belül húzható meg (GÓCZÁN 1987).

A Kösseni Formáció az Rzt–1 fúrásban három kőzetkifejlődési szakaszra tagolható (HAAS 1993). Az alsó szakaszt (201,0–265,0 m) döntően sötétszürke, laminites,



3. ábra. A Rezi Rzt–1 fúrás egyszerűsített rétegoszlopa a Kösseni Formáció jellegzetes kőzetkifejlődési szakaszaival (HAAS 2002 alapján, módosítva)

Fig. 3 Simplified lithological column of the borehole Rezi Rzt–1 with typical parts of Kössen Formation. Modified after HAAS (2002). Alsó = *lower interval;* Középső = *middle interval;* Felső = *upper interval*

bitumenes márga és agyagmárga építi fel, amely intraklasztos és intraplasztos, mollusca-lumasellás betelepüléseket, valamint iszapcsúszási nyomokat tartalmaz. A középső szakaszt (73,0–201,0 m) sötétszürke, barnásszürke, laminites, bitumenes agyagmárga, aleuritos márga és aleurolit alkotja szervesanyagdús, alginites, mollusca-lumasellás és intraklasztos betelepülésekkel. Az ősmaradványokban szegény felső szakaszt (24,4–73,0 m) sötétszürke préselt agyag és agyagmárga képviseli.

Az eredmények közvetlen összehasonlíthatósága érdekében – a korábbi munkákhoz hasonlóan (HAAS 1993, 2004; VETŐ et al. 2000; HETÉNYI et al. 2002) – a vizsgált minták csoportosítására ezt a kőzetkifejlődési tagolást alkalmaztuk.

Mintagyűjtés, analitikai módszerek

A Kösseni Formáció szervetlen geokémiai jellemzéséhez az Rzt–1 fúrás (*3. ábra*) 95,2–264,0 m közötti szakaszából 14 bitumenes márga–mészmárga kőzetmintát vizsgáltunk. Ezek közül 8 minta a középső, 6 minta az alsó szakaszt képviseli. A fúrás felső szakasza nem tartalmaz bitumenes kőzettípusokat így annak anyagát nem vizsgáltuk. A minták többségének HETÉNYI et al. (2002) által megállapított ásványos összetételét az *I. táblázat*ban foglaltuk össze. A Kösseni Formáció feküjéből, a Rezi Formációból – összehasonlító mintaként – egy bitumenes dolomit kőzetmintát (Rzt–1 fúrás; 274,0 m) szintén megvizsgáltunk, amely a Rezi Formáció felső tagozatát képviseli. Valamennyi mintát – kőzetliszt szemcseméretűre őrölve, üveg mintatartóban – HAAS János és HETÉNYI Magdolna bocsátotta rendelkezésünkre. A mintákban az összes szerves szén (TOC) mennyiségét HETÉNYI (szóbeli közlés) határozta meg; az adatok jelentős részét VETŐ et al. (2000) publikálta.

I. táblázat. A felső-triász Kösseni Formáció kőzeteinek ásványos összetétele (%) HETÉNYI et al. (2002) alapján

Table I Mineral composition (%) of the rocks of the Upper Triassic Kössen Formation after HETÉNYI et al. (2002)

minta *Sample*	kvarc *Quartz*	agyagásvány *Clay minerals*	aragonit *Aragonite*	kalcit *Calcite*	dolomit *Dolomite*	pirit *Pyrite*	egyéb *Others*
Rzt–1 95,2 m	15	33	-	45	3	2	2
Rzt–1 139,2 m	9	16	10	61	3	1	3
Rzt–1 151,5 m	18	51	7	18	3	3	-
Rzt–1 168,0 m	28	20	14	34	2	2	-
Rzt–1 170,0 m	15	24	3	54	2	2	-
Rzt–1 178,8 m	6	14	1	68	10	1	-
Rzt–1 185,9 m	12	27	10	38	11	2	-
Rzt–1 207,5 m	11	8	2	70	8	-	1
Rzt–1 224,9 m	7	11	3	75	-	2	2
Rzt–1 236,0 m	11	23	3	55	4	3	1
Rzt–1 241,0 m	11	22	3	58	3	3	-

A teljes kőzetminták fő- és nyomelemösszetételét a Veszprémi Egyetem Föld- és Környezettudományi Tanszékén röntgenfluoreszcens spektrometria (XRF) módszerével határoztuk meg. A mérések Philips PW 2404 típusú készülékkel, vákuum közegben, Rh anód alkalmazásával készültek (analizátorkristályok: LiF200, PE002-C GE, 111-C, PX1; detektor: szcintillációs duplex gázátáramlásos; kollimátor: 27 mm, 37 mm). Az XRF vizsgálatokhoz 1,6 g porított mintát 0,4 g bórsav kötőanyaggal és spektráltiszta etil-alkohollal homogenizáltunk, majd pasztilláztunk. Tapasztalataink szerint a mérések szórása a főelemekre és a kénre <10%, a nyomelemekre <5%. A rendelkezésünkre álló korlátozott pormintamennyiség miatt az izzítási veszteség értékét nem határoztuk meg, ez azonban a fő- és nyomelemkoncentrációk arányaira épülő geokémiai értelmezést nem befolyásolja.

Az üledékképződési környezet redox viszonyainak jellemzésére a „piritesedés mértékét" megadó DOP („degree of pyritization") arányt határoztuk meg, amely a piritben található vas (definíció szerint a HNO_3-oldható vas) és az összes reaktív vas (definíció szerint a HNO_3-oldható vas és a HCl-oldható vas összege) mennyiségének hányadosaként számolható ki (BERNER 1970, 1984; RAISWELL et al. 1988). Normál tengeri, oxikus környezetben a DOP<0,46; 0,46–0,67 közötti DOP érték diszoxikus környezetnek felel meg; a 0,67–0,75 közötti DOP értékek kevésbé rétegzett anoxikus vízoszlopot, a nagy DOP értékek (>0,75) erősen rétegzett anoxikus vízoszlopot jeleznek az üledékképződés során (RAISWELL et al. 1988; RIMMER 2004; RIMMER et al. 2004; SCHULTZ 2004). A tengervíz redox viszonyainak becslésére alkalmazott módszerek elvi alapjait egy korábbi tanulmányban foglaltuk össze (RAUCSIK et al. 2005).

A DOP arány meghatározásához – BERNER (1970, 1984) és RAISWELL et al. (1988) módszerét követve – műveletileg meghatározott szekvens kioldásos frakciók atomabszorpciós spektrometriás (AAS) vizsgálatát végeztük el. A frakciók elkészítéséhez 0,1 g porított kőzetmintához 50 ml 1N HCl-oldatot adtunk, majd 24 óra múlva az oldatot lombikba (100 ml) szűrtük, ezt követően a szűrőpapír háromszori mosása után a lombikot kétszer desztillált vízzel jelre töltöttük (HCl-oldható Fe-frakció= reaktív vas). A sósavas feltárást követően az oldási maradékot folyamatos keverés

mellett, két órán keresztül 10 ml cc. HNO_3-val kezeltük, majd az így kapott oldatot lombikba (100 ml) szűrtük, a szűrőpapír háromszori mosása után a lombikot kétszer desztillált vízzel jelre töltöttük (HNO_3-oldható Fe-frakció=piritben található vas). Minden mintánál három párhuzamos előkészítést végeztünk. Az egyes frakciókban a Fe-tartalom meghatározását Perkin Elmer 403 típusú atomabszorpciós spektrométerrel 248,4 nm hullámhosszon végeztük. Az analitikai mérőgörbe készítésekor 2,0, 5,0, 7,0, 10,0 és 12,0 mg Fe/dm^3-es oldatot használtunk fel. A mérési eredmények relatív szórása 6,4%.

A szervetlen geokémiai vizsgálat eredménye

A vizsgált minták fő- és nyomelemösszetétele

A minták fő- és nyomelemkoncentrációjának (*II. táblázat*) összehasonlításához – az üledékes geokémiai vizsgálatokban elterjedt módon – az archaikum utáni ausztráliai agyagkő (PAAS, „post-Archean Australian average shale") átlagos összetételéhez (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001) viszonyított, Al-ra normált dúsulási tényezőket határoztuk meg (RAUCSIK et al. 2005). Egy adott elemre a dúsulási tényező (Ex* vagy EF, „enrichment factor") a következő képlet szerint számolható: $EF = (elem/Al)_{minta}/(elem/Al)_{PAAS}$. Relatív dúsulás esetén EF>1, ezzel ellentétben, valamely elem relatív szegényedése esetén EF<1 (RAUCSIK et al. 2005; BRUMSACK 2006).

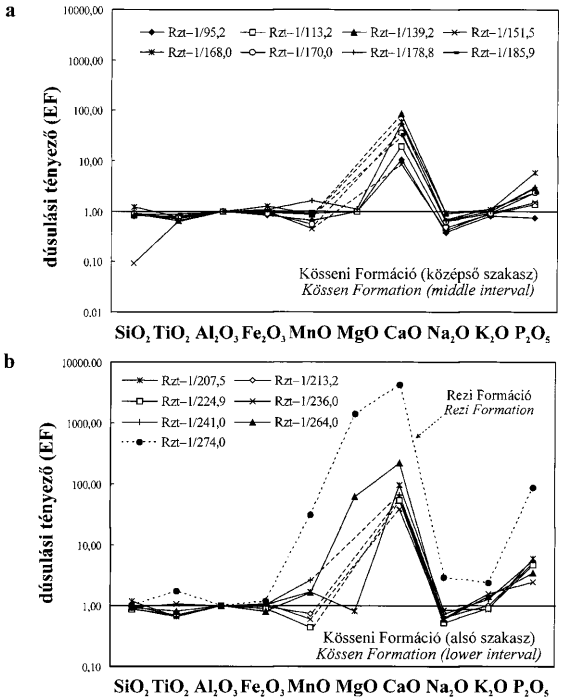
A PAAS összetételhez viszonyítva a Kösseni Formáció középső szakaszát képviselő minták főelem dúsulási tényezői nagyon hasonlóak (*4. ábra, a*). Valamennyi minta jelentős mértékű CaO-dúsulást mutat (a kalcittartalom felhígító hatása következtében), továbbá a P_2O_5 mennyiségében – egy minta kivételével – különböző mértékű dúsulás figyelhető meg. A Na_2O és a MnO mennyiségében kis mértékű szegényedés mutatható ki. A SiO_2, a TiO_2, a Fe_2O_3 és a K_2O dúsulási tényezője egyhez közeli érték, azaz a vizsgált mintákban ezekre a főelemekre sem dúsulás, sem szegényedés nem jellemző a PAAS összetételéhez képest. A MgO mennyisége 5 mintában a kimutatási határ alatt maradt (*II. táblázat*), ezért megbízható jellemzését a bemutatott adatok nem teszik lehetővé. Az általános tendenciától a 151,5 m-ből vett minta tér el, amelyik a SiO_2-ra nézve kiugró mértékben szegényedik, továbbá a MnO és a CaO dúsulási tényezője az adott szakaszon belül a legkisebb. Ez a minta jelentős mennyiségű agyagásványt tartalmaz (*I. táblázat*), kalcittartalma ennek megfelelően lényegesen kisebb, mint a formációt képviselő többi mintáé. A főelemek dúsulási tényezőiben megfigyelhető különbség így az eltérő ásványos összetételt tükrözi.

A Kösseni Formáció alsó szakaszából származó minták főelem dúsulási tényezői – a 264,0 m-ből vett minta kivételével – megegyeznek a középső szakasz mintáira jellemző értékekkel (*4. ábra, b*). A 264,0 m-ből vett mintában – amely a Kösseni Formáció legalsó, átmeneti jellegű szakaszát képviseli – a MgO és a CaO dúsulási tényezője kiemelkedően nagy, ami jelentős dolomittartalomra utal. A Rezi Formációból származó bitumenes dolomit főelemösszetételét jellemző dúsulási tényezők nemcsak a MnO, a MgO és a CaO esetén kiugróak, hanem a TiO_2, a Na_2O, a K_2O és a P_2O_5 dúsulási tényezője is többszörösen meghaladja a Kösseni Formációra jellem-

II. táblázat. A vizsgált minták kémiai összetétele (főelemek, S és TOC: %, nyomelemek: ppm)
Table II Chemical composition of the samples studied (major elements, S and TOC in wt% and trace elements in ppm)

fúrás jele	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1
mélységm)	95,2	113,2	139,2	151,5	168,0	170,0	178,8	185,9	207,5	213,2	224,9	236,0	241,0	264,0	274,0
formáció	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	RF
SiO_2	43,02	35,55	16,68	4,83	24,03	28,24	20,75	27,93	20,13	23,75	22,70	27,08	19,80	6,45	0,37
TiO_2	0,69	0,50	0,20	0,51	0,24	0,36	0,28	0,45	0,18	0,26	0,29	0,49	0,23	0,09	0,01
Al_2O_3	15,99	13,05	5,80	15,33	5,88	9,18	7,47	9,59	5,13	7,07	7,85	8,78	6,56	2,09	0,11
Fe_2O_3	5,11	4,66	2,11	5,85	2,89	3,21	3,06	3,71	2,02	2,57	2,66	3,63	2,60	0,66	0,05
MnO	0,06	0,07	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,10	0,02	0,04
MgO	1,80	1,52	ND	ND	ND	ND	0,97	ND	0,48	ND	ND	ND	ND	14,91	10,97
CaO	11,63	17,52	34,50	8,84	23,57	22,61	27,93	22,07	34,02	28,39	29,46	23,35	29,86	32,07	32,91
Na_2O	0,38	0,39	0,34	0,41	0,34	0,37	0,31	0,42	0,27	0,29	0,26	0,34	0,31	0,08	0,02
K_2O	2,51	2,20	1,14	2,74	1,22	1,65	1,43	2,07	0,87	1,40	1,37	2,65	1,66	0,57	0,05
P_2O_5	0,10	0,15	0,14	0,19	0,29	0,18	0,19	0,19	0,26	0,30	0,31	0,18	0,31	0,06	0,08
S	0,52	0,62	0,59	1,22	2,44	1,58	0,67	0,59	1,14	1,64	1,75	1,54	1,71	0,57	0,21
TOC	1,4	2,0	3,1	7,3	14,6	6,1	2,3	1,6	4,6	7,0	6,2	5,1	6,8	1,6	0,6
Rb	110	99	15	103	5	53	43	59	8	35	34	28	15	6	3
Sr	799	1080	2329	1859	2992	1721	1445	2353	1462	1311	1357	3230	1830	185	84
Cs	10	8	10	10	4	5	6	10	9	5	6	9	10	3	3
Ba	213	153	124	224	230	163	519	139	380	107	115	170	139	59	14
Pb	20	19	7	21	52	33	5	23	23	27	29	13	17	14	11
Zr	84	59	6	51	ND	35	30	34	16	23	24	39	10	30	20
La	18	12	26	34	29	19	11	11	11	19	31	ND	10	36	21
Ce	26	42	ND	38	24	21	20	33	22	23	37	14	27	24	ND
Cr	79	82	35	98	71	55	31	68	32	52	53	37	33	5	ND
Co	16	18	5	22	23	15	11	12	11	13	8	6	13	2	1
Ni	52	54	27	91	81	54	32	36	31	68	51	38	49	11	6
Zn	59	56	41	84	72	61	38	49	42	61	49	51	59	24	20
Cu	26	30	33	105	87	51	29	24	43	105	66	20	51	14	4

Rövidítések: TOC: összes szerves szén; KF: Kösseni Formáció; RF: Rezi Formáció; ND: nincs adat. *Abbreviations: TOC total organic carbon; KF Kössen Formation; RF Rezi Formation; ND no data*

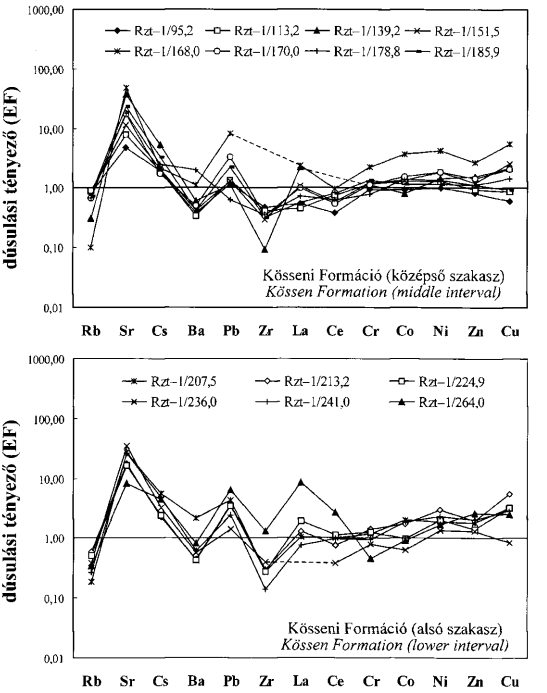


4. ábra. Archaikum utáni ausztráliai agyagkő (PAAS – TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001) összetételhez viszonyított főelem dúsulási tényezők. $EF=(elem/Al)_{minta}/(elem/Al)_{PAAS}$

Fig. 4 Enrichment factors for major elements relative to the post-Archean Australian average shale (PAAS – TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001). $EF=(element/Al)_{sample}/(element/Al)_{PAAS}$

ző értékeket (*4. ábra, b*). Figyelembe véve, hogy ebben a mintában a terrigén frakció mennyiségével arányos Al_2O_3-koncentráció nagyon kicsi (*II. táblázat*), a véges összeghatás következtében a dúsulási tényező számolásakor a kicsi osztó (jelen esetben a minta Al-tartalma) nagy elem/Al arányhoz, azaz irreálisan nagy dúsulási tényezőhöz vezet (BRUMSACK 2006). A Rezi Formációt képviselő minta dúsulási tényezőinek értelmezésétől ezért a továbbiakban eltekintettünk.

A vizsgált minták nyomelemösszetételéből számolt dúsulási tényezőknek – a rétegsorban elfoglalt helyzettől függetlenül – nagyon hasonló általános jellemzői vannak (*5. ábra*). A nagy ionrádiuszú, litofil nyomelemek (Rb, Sr, Cs, Ba) és a rokon geokémiai viselkedésű Pb dúsulási viszonyaiban jelentős különbségek figyelhetők



5. ábra. PAAS (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001) összetételhez viszonyított nyomelem dúsulási tényezők (EF)

Fig. 5 Enrichment factors (EF) for trace elements relative to the PAAS (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001)

meg. A Rb-ra vonatkoztatva minden, a Ba szempontjából a legtöbb minta szegényedik a PAAS-hez viszonyítva, ezzel ellentétben a Sr és a Cs dúsulási tényezője valamennyi mintában nagyobb egynél. A Sr kiugró dúsulása (*l. táblázat*) a minták jelentős karbonáttartalmára vezethető vissza. Az Pb-ra – egy minta kivételével – dúsulás jellemző. A Zr dúsulási tényezője általában szegényedést tükröz. A ritkaföldfémek közül a La és a Ce dúsulási tényezője többnyire egy allatti, illetve az egységhez közeli érték. A vizsgált átmenetifémek (Cr, Co, Ni, Zn, Cu) dúsulási tényezői hasonlóak. A Cr és a Co sem határozott dúsulást, sem szegényedést nem mutat a PAAS összetételhez képest, azonban a Ni, a Zn és a Cu dúsulási tényezője a legtöbb mintában nagyobb egynél.

Az általános tendenciától egyrészt a 168,0 m-ből vett minta tér el, amelyben az Pb, a La és az átmenetifémek nagyobb mértékben dúsulnak (*5. ábra, a*); másrészt a 264,0 m-ből vett mintában az Pb, a Zr, a La és a Ce mutat jelentősebb dúsulást (*5. ábra, b*). A középső szakaszba tartozó, 168,0 m-ből vett minta kvarc- és TOC-tartalma jelentősen meghaladja a Kösseni Formációt képviselő többi mintára jellemző értékeket (*I. és II. táblázat*). Ezt erősíti meg a minta legnagyobb SiO_2-, Fe_2O_3- és P_2O_5-dúsulási tényezője (*4 ábra, a*). Valószínűleg a jelentősebb mennyiségű terrigén frakció és szervesanyag okozta a nyomelemek dúsulási viszonyaiban megfigyelhető változást. A 264,0 m-ből vett minta eltérő Al-ra normált nyomelemeloszlása – a főelemek dúsulási viszonyaihoz hasonlóan – a lényegesen nagyobb karbonáttartalomra (elsősorban dolomit) és alárendelt szilikáttartalomra vezethető vissza.

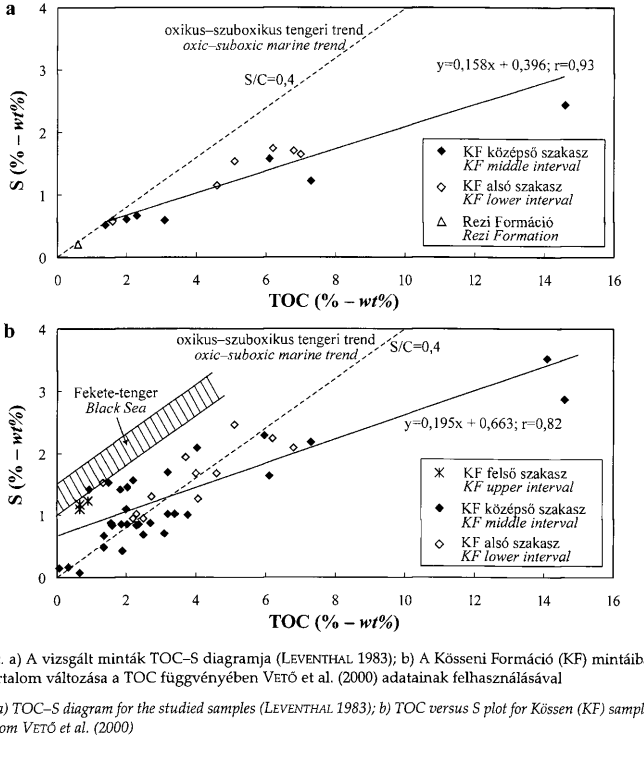
Az összes szerves szén (TOC), a kén és a vas mennyisége

A TOC, a kén és a vas koncentrációi közötti összefüggéseket széles körben használják a tengeri rendszerek paleoredox körülményeinek jellemzésére (RAISWELL et al. 1988; ALGEO & MAYNARD 2004; RIMMER 2004; RIMMER et al. 2004; SCHULTZ 2004; RAUCSIK et al. 2005). Az Rzt–1 fúrás kőzetmintáiból meghatározott TOC-tartalmat, valamint az összes kén (S) és a vas (Fe_2O_3 formában) mennyiségét a *II. táblázat* tartalmazza. A Rezi Formációt képviselő minta (274,0 m) TOC-, S- és Fe_2O_3-tartalma egyaránt nagyon kicsi. Ettől eltérően a Kösseni Formáció alsó szakaszába tartozó minták TOC-tartalma jelentős (1,6–7,0%), a S mennyisége 0,57–1,75%, az Fe_2O_3 mennyisége 0,66–3,63% között változik. A középső szakasz vizsgált mintáit szintén nagy TOC-tartalom (1,4–14,6%), változó S- (0,52–2,44%) és Fe_2O_3-tartalom (2,11–5,85%) jellemzi.

A S mennyiségét a TOC-tartalom függvényében ábrázolva (*6. ábra, a*) megállapítható, hogy – rétegtani helyzettől függetlenül – valamennyi mintapont az oxikus–szuboxikus tengeri összetételnek megfelelő egyenes (S/C=0,4) alatt helyezkedik el. A Kösseni Formációt képviselő mintapontokra illesztett egyenes tengelymetszete pozitív (y=0,158), az adatok közötti lineáris korreláció kitűnő (r=0,93), azonban a vizsgált mintaszám kicsi (N=12). Figyelembe véve VETŐ et al. (2000) adatait, megbízható lineáris korreláció (r=0,82) mutatható ki a Kösseni Formáció mintáinak TOC- és S-tartalma között (*6. ábra, b*). Az alsó szakaszt egyaránt nagy TOC- és S-tartalom jellemzi, a középső szakasz mintáinak TOC-tartalma ennél általában valamivel kisebb, a felső szakaszra kis TOC-tartalom mellett is viszonylag nagy S-tartalom jellemző.

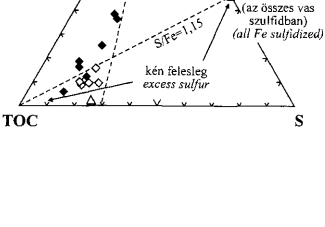
Az Fe_{tot}–TOC–S diagramban (DEAN & ARTHUR 1989; ARTHUR & SAGEMAN 1994) a Rezi Formációt képviselő minta gyakorlatilag a TOC–S tengelyen helyezkedik el (*7. ábra*). A Kösseni Formáció alsó szakaszát jellemző mintapontok a pirit összetételének megfelelő S/Fe=1,15 egyenes alatt (kénfeleslegre utalva), a TOC csúcs közelében csoportosulnak. Ezzel ellentétben a középső szakaszból származó minták összetételét jelző adatpontok részben a S/Fe=1,15 egyenes környezetében helyezkednek el, részben a normál tengeri S/C aránynak megfelelő S/C=0,4 egyenesre illeszkednek (*7. ábra*).

Az Rzt–1 fúrás vizsgált kőzetmintáiból meghatározott HCl-oldható és HNO_3-oldható vaskoncentrációkat, valamint az ezekből számolt DOP adatokat a



6. ábra. a) A vizsgált minták TOC–S diagramja (LEVENTHAL 1983); b) A Kösseni Formáció (KF) mintáiban a S-tartalom változása a TOC függvényében VETŐ et al. (2000) adatainak felhasználásával

Fig. 6 a) TOC–S diagram for the studied samples (LEVENTHAL 1983); b) TOC versus S plot for Kössen (KF) samples, data from VETŐ et al. (2000)



7. ábra. A vizsgált minták Fe–TOC–S háromszög-diagramja (DEAN & ARTHUR 1989; ARTHUR & SAGEMAN 1994)

Fig. 7 Fe–TOC–S ternary plot for the studied samples (DEAN & ARTHUR 1989; ARTHUR & SAGEMAN 1994)

III. táblázat A vizsgált minták reaktív (HCl-oldható) és pirit (HNO_3-oldható) fázisának Fe-koncentrációi és DOP („degree of pyritization") értékei

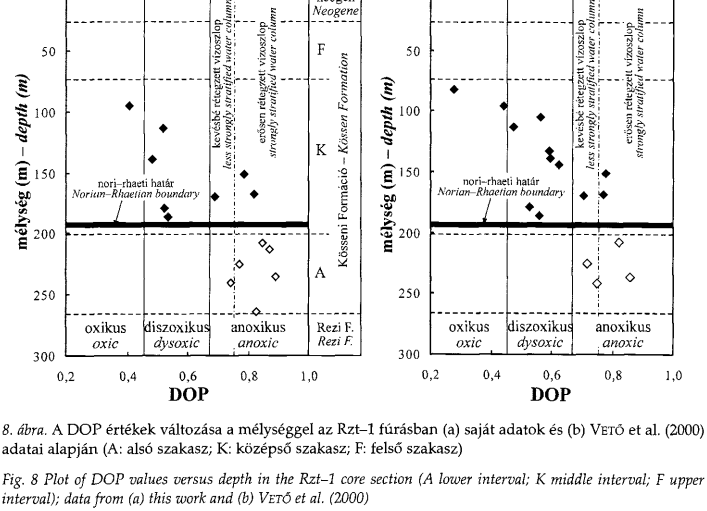
Table III Fe concentrations in the reactive (HCl-soluble) and pyrite (HNO_3-soluble) phases and DOP (degree of pyritization) values for the samples studied

minta	formáció	Fe (ppm)		DOP	Fe_{HCl} (%)	Fe_{py} (%)	DOP*
		HCl-oldható	HNO_3-oldható		VETŐ et al. (2000)		
Rzt–1 95,2 m	KF	6312	4333	0,41	0,66	0,52	0,44
Rzt–1 113,2 m	KF	5167	5583	0,52			
Rzt–1 139,2 m	KF	2667	2493	0,48	0,36	0,53	0,60
Rzt–1 151,5 m	KF	2528	9299	0,79	0,40	1,40	0,78
Rzt–1 168,0 m	KF	1313	5931	0,82	0,25	0,83	0,77
Rzt–1 170,0 m	KF	2632	5826	0,69	0,37	0,88	0,70
Rzt–1 178,8 m	KF	3917	4333	0,53	0,72	0,80	0,53
Rzt–1 185,9 m	KF	4333	4958	0,53	0,63	0,80	0,56
Rzt–1 207,5 m	KF	896	4889	0,85	0,17	0,79	0,82
Rzt–1 213,2 m	KF	757	5132	0,87			
Rzt–1 224,9 m	KF	1660	5549	0,77			
Rzt–1 236,0 m	KF	1208	9681	0,89	0,22	1,34	0,86
Rzt–1 241,0 m	KF	1868	5306	0,74	0,28	0,83	0,75
Rzt–1 264,0 m	KF	167	792	0,83			
Rzt–1 274,0 m	RF	<kh	<kh	-			

Rövidítések: KF: Kösseni Formáció; RF: Rezi Formáció; <kh: kimutatási határ alatt; Fe_{HCl}: HCl-oldható vas; Fe_{py}: pirit-vas; DOP*: DOP VETŐ et al. (2000) Fe_{HCl} és Fe_{py} adatai alapján

Abbreviations: KF Kössen Formation; RF Rezi Formation; <kh below detection limit; Fe_{HCl}: HCl-soluble Fe; Fe_{py}: pyrite-Fe; DOP: DOP value calculated from Fe_{HCl} and Fe_{py} data from VETŐ et al. (2000)*

III. táblázat tartalmazza, amelyben összehasonlítás céljából a VETŐ et al. (2000) által publikált Fe_{HCl} és Fe_{py} adatokat is feltüntettük. Ez utóbbiakból számolt DOP értéket a *III. táblázatban* DOP*-gal jelöltük. Figyelemre méltó, hogy a VETŐ et al. (2000) által megadott HCl-ban oldható és pirithez kötött Fe mennyisége mindig nagyobb, mint az általunk meghatározott mennyiségek. Az adatokból számolt DOP értékek azonban jól egyeznek. Ez a különbség a munkánk során alkalmazott analitikai meghatározás szisztematikus hibájára hívja fel a figyelmet, ezért a *III. táblázatban* közölt abszolút adatok csak korlátozottan használhatók fel. A DOP értékek nagymértékű hasonlósága azonban azt bizonyítja, hogy helytálló az arányukra alapozott őskörnyezeti értelmezés (*8. ábra*). A Kösseni Formáció alsó szakaszát jellemző valamennyi minta DOP értéke az anoxikus környezetnek felel meg (0,74–0,89). A minták többsége erősen rétegzett anoxikus vízoszlopra utal az üledékképződés során (DOP>0,75). A középső szakasz mintáinak DOP viszonyszámai először – a rétegtanilag idősebb mintákra – a diszoxikus és az anoxikus környezeti viszonyoknak megfelelő értékek között ingadoznak (0,53–0,82), majd a rétegsor fiatalabb részén diszoxikus–oxikus környezetet (0,41–0,52) jeleznek (*8. ábra, a*). Hasonló eredményt kapunk, ha a DOP értékeket a VETŐ et al. (2000) által közölt Fe_{HCl} (%) és Fe_{py} (%) adatokból számoljuk (*8. ábra, b*).



8. ábra. A DOP értékek változása a mélységgel az Rzt–1 fúrásban (a) saját adatok és (b) VETŐ et al. (2000) adatai alapján (A: alsó szakasz; K: középső szakasz; F: felső szakasz)

Fig. 8 Plot of DOP values versus depth in the Rzt–1 core section (A lower interval; K middle interval; F upper interval); data from (a) this work and (b) VETŐ et al. (2000)

Az őskörnyezet redox viszonyainak változására utaló elemarányok

Az Rzt–1 fúrásban a legfontosabb redox-érzékeny fő- (vas, mangán) és nyomelemek (Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Co) Al-ra normált koncentrációjának (*IV. táblázat*) mélység szerinti változását a *9. ábra* mutatja be. A normál tengeri, oxikus környezetnek megfelelő PAAS elemarányhoz képest (Fe/Al=0,51) a vizsgált mintákban – a kőzetkifejlődési szakasztól függetlenül – nem mutatható ki jelentős Fe/Al növekedés. A minták döntő többségében a Mn/Al hányados kisebb, mint a PAAS összetételéből számolt érték (Mn/Al=0,017). A Cu/Al, a Ni/Al, az Pb/Al, valamint a Zn/Al hányados a Kösseni Formáció alsó szakaszán lényegesen nagyobb, mint a normál tengeri (PAAS) fém/Al arányok, azonban a vizsgált mintákban a Cr/Al és a Co/Al változása nem tükröz határozott tendenciát. A középső szakasz alsó része mintáiban – a DOP értékekkel párhuzamosan – a Cu/Al, a Ni/Al, az Pb/Al, a Zn/Al, a Cr/Al és a Co/Al hányados viszonylag nagy, amely anoxikus környezetre utal. A középső szakasz felső részéből származó mintákban azonban a redox-érzékeny nyomelemek Al-ra normált arányai nem térnek el lényeges mértékben a normál tengeri összetételre jellemző elemarányoktól (*IV. táblázat*).

Az Rzt–1 fúrásból származó szervesanyagban gazdag kőzetminták terrigén anyagban viszonylag szegények, ezért bizonyos mintáknál a véges összeghatás következtében az Al-ra normálás irreálisan nagy elem/Al arányhoz vezetett (*IV. táblázat*, 274 m-ből vett minta). A kémiai összetétel helyes geokémiai értelmezése

IV. táblázat A redox-érzékeny elemek Al-ra normált koncentrációaránya, valamint nem törmelékes, vagy többlet (TM_{xs}) fémkoncentrációi (BRUMSACK 2006) a Kösseni Formáció Rzt–1 fúrási szelvényében

Table IV Al-normalised redox-sensitive element concentration ratios and non-detrital or "excess" trace metal (TM_{xs}) content (BRUMSACK 2006) in the Rzt–1 core section of the Kössen Formation

fúrás jele	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1
mélység (m)	95,2	113,2	139,2	151,5	168,0	170,0	178,8	185,9	207,5
formáció	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF
Fe/Al	0,42	0,47	0,48	0,50	**0,65**	0,46	**0,54**	**0,51**	**0,52**
Mn/Al	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	**0,03**	0,02	**0,03**
Cu/Al	6,14	8,68	**21,49**	**25,88**	**55,90**	**20,99**	**14,67**	9,45	**31,67**
Ni/Al	**12,29**	**15,63**	**17,59**	**22,43**	**52,04**	**22,22**	**16,18**	**14,18**	**22,83**
Pb/Al	**4,73**	**5,50**	**4,56**	**5,18**	**33,41**	**13,58**	2,53	**9,06**	**16,94**
Zn/Al	13,94	16,21	**26,70**	**20,70**	**46,26**	**25,10**	**19,22**	**19,30**	**30,93**
Co/Al	3,78	**5,21**	3,26	**5,42**	**14,78**	**6,17**	**5,56**	**4,73**	**8,10**
Cr/Al	18,66	**23,74**	**22,80**	**24,15**	**45,62**	**22,63**	15,68	**26,79**	**23,57**
Fe_{xs}	-0,349	-0,114	-0,037	-0,002	**0,225**	-0,104	**0,072**	**0,016**	**0,021**
Mn_{xs}	-0,026	-0,005	-0,003	-0,038	-0,003	-0,018	**0,021**	-0,005	**0,016**
Cu_{xs}	-16,302	-4,524	**17,656**	**64,444**	**71,444**	**26,714**	**9,238**	-1,370	**29,429**
Ni_{xs}	**1,238**	**12,571**	**8,587**	**42,333**	**62,333**	**24,857**	**8,286**	**5,556**	**14,714**
Pb_{xs}	**3,079**	**5,190**	**0,862**	**4,778**	**45,778**	**23,286**	-2,905	**12,852**	**17,571**
Zn_{xs}	-12,913	-2,690	**14,915**	**15,056**	**45,556**	**19,714**	**4,405**	**5,870**	**18,929**
Co_{xs}	-0,921	**4,190**	-1,138	**5,778**	**16,778**	**5,286**	**3,095**	**1,852**	**5,571**
Cr_{xs}	-5,603	**12,952**	**4,312**	**16,889**	**39,889**	**6,429**	-8,524	**17,259**	**4,857**

fúrás jele	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1	Rzt–1		
mélység (m)	213,2	224,9	236,0	241,0	264,0	274,0	PAAS	r(TOC, TM_{xs})
formáció	KF	KF	KF	KF	KF	RF		n=15
Fe/Al	0,48	0,45	**0,55**	**0,52**	0,42	**0,60**	0,51	
Mn/Al	0,01	0,01	0,01	**0,04**	**0,03**	**0,53**	0,02	
Cu/Al	**56,11**	**31,76**	8,61	**29,37**	**25,31**	**137,37**	9,99	
Ni/Al	**36,34**	**24,54**	**16,35**	**28,22**	**19,88**	**206,06**	11,99	
Pb/Al	**14,43**	**13,96**	**5,59**	**9,79**	**25,31**	**377,78**	4,00	
Zn/Al	**32,59**	**23,58**	**21,94**	**33,98**	**43,38**	**686,87**	16,99	
Co/Al	**6,95**	3,85	2,58	**7,49**	3,62	**34,34**	4,00	
Cr/Al	**27,79**	**25,51**	15,92	19,00	9,04		19,99	
Fe_{xs}	-0,046	-0,119	**0,097**	**0,033**	-0,048	**0,003**		0,52
Mn_{xs}	-0,009	-0,020	-0,016	**0,048**	**0,006**	**0,015**		-0,12
Cu_{xs}	**86,296**	**45,233**	-3,228	**33,646**	**8,471**	**3,709**		0,80
Ni_{xs}	**45,556**	**26,079**	**10,127**	**28,175**	**4,365**	**5,651**		0,93
Pb_{xs}	**19,519**	**20,693**	**3,709**	**10,058**	**11,788**	**10,884**		0,76
Zn_{xs}	**29,204**	**13,696**	**11,513**	**29,497**	**14,601**	**19,505**		0,78
Co_{xs}	**5,519**	-0,307	-3,291	**6,058**	-0,212	**0,884**		0,78
Cr_{xs}	**14,593**	**11,466**	-9,455	-1,709	-6,058			0,69

A TM_{xs} értéke a következő képlet segítségével számolható: $TM_{xs}=TM_{minta}-Al_{minta}(TM/Al)_{PAAS}$. A PAAS-hez viszonyított dúsulást vastagított értékek jelzik. Rövidítések: KF: Kösseni Formáció; RF: Rezi Formáció; PAAS: archaikum utáni ausztráliai agyagkő (PAAS – TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001); r(TOC; TM_{xs}): a TOC és a többlet fémkoncentráció közötti lineáris korrelációs koefficiens

TM_{xs} is calculated as follows: $TM_{xs}=TM_{sample}-Al_{sample}(TM/Al)_{PAAS}$. Compared to the PAAS, any relative enrichment is expressed by bold numbers. Abbreviations: KF Kössen Formation; RF Rezi Formation; PAAS post-Archean Australian average shale (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001); r(TOC; TM_{xs}) linear correlation coefficient between the TOC and excess trace metal contents

érdekében ezért BRUMSACK (2006) javaslatát követve a PAAS-hez viszonyított, nem törmelékes, vagy többlet fémkoncentrációkat szintén meghatároztuk (*IV. táblázat*). A többlet fémkoncentrációk mélység szerinti változása a Kösseni Formáció alsó és középső szakaszára megerősíti az elem/Al arány segítségével felvázolt őskörnyezeti modellt. A Rezi Formációt képviselő, 274 m-ből vett minta valamennyi vizsgált redox-érzékeny elemből többletet tartalmaz a PAAS-hez képest, azonban – az elem/Al hányadosoktól eltérően – a Kösseni Formációhoz viszonyítva a nem törmelékes fémkoncentrációk aránya kisebb.

A Ni_{xs} és a TOC közötti kitűnő korreláció (r=0,93) arra utal, hogy a vizsgált mintákban a Ni-tartalmat a szervesanyag mennyisége határozza meg. Ez összhangban van ALGEO & MAYNARD (2004) megállapításával, amely szerint a Ni – anoxikus és euxin környezetben egyaránt – elsősorban a szerves frakcióhoz (főként tetrapirrol-komplexek formájában) kapcsolódik. A Cu_{xs}, a Pb_{xs}, a Zn_{xs} és a Co_{xs} szintén pozitívan korrelál a TOC-tartalommal, de a gyengébb (0,8 körüli) lineáris korreláció arra utal, hogy ezen elemek mennyiségét más hordozó fázisok is befolyásolják (pl. pirit, Fe-Mn-oxihidroxidok, agyagásványok). A Cr_{xs} és a TOC közötti gyengébb korreláció (r=0,69) alapján a Cr mennyiségét elsősorban a törmelékes frakció határozza meg.

Az eredmények értelmezése

Az üledékanyag felhalmozódásának redox környezeti feltételei különböző TOC–S összefüggésekhez vezethetnek. A S–TOC diagramon (*6. ábra*) az origóból kiinduló és 0,4 meredekségű egyenes a normál tengeri, oxikus–szuboxikus környezetnek megfelelő S/TOC arányt jelzi (LEVENTHAL 1983; ALGEO & MAYNARD 2004). Ezzel párhuzamos a pozitív tengelymetszetű (~1,0–1,5 g/g% S) „feketetengeri trend" (*6. ábra, b*), amely euxin fáciest jelez (LEVENTHAL 1983). Mindkét eloszlás olyan C-korlátozott tengeri üledékképződési rendszerekre jellemző, amelyekben a szulfát-redukáló baktériumok által termelt H_2S mennyisége a jelenlevő, a pirit képződése szempontjából reakcióképes szerves szén mennyiségével párhuzamosan változik, valamint a szulfid-S keletkezését a reaktív Fe elérhetősége nem korlátozza (ALGEO & MAYNARD 2004). A normál tengeri S/C arányt jelző egyenes alatt elhelyezkedő olyan mintapontok, amelyekre – szignifikáns lineáris korreláció nélkül – pozitív tengelymetszetű egyenes illeszthető, Fe-korlátozott, anoxikus vagy euxin környezeti feltételeket tükröznek (RIMMER 2004; SCHULTZ 2004). Ez azt jelenti, hogy a pirit keletkezéséhez szükséges (többnyire terrigén eredetű) reaktív Fe-oxidok és Fe-oxihidroxidok aránya kicsi és/vagy hozzáférhetőségük elégtelen. Abban az esetben, ha a pirithez kapcsolódó kén (S_{py}) mennyiségét pontosan ismerjük, a S_{py}–TOC diagram segítségével lehetőség nyílik a szingenetikus piritképződés felismerésére is (CRUSE & LYONS 2004; RIMMER 2004; SCHULTZ 2004).

Annak ellenére, hogy a Kösseni Formációt jellemző mintapontok a S–TOC diagramon a normál tengeri arányt jelző egyenes alatt helyezkednek el (*6. ábra, a*), a kitűnő korreláció miatt kizárható a Fe-korlátozott üledékképződési környezet. Ezt támasztja alá a korábbi szedimentológiai modell is (HAAS 1993, 2004), amely szerint a Kösseni-medence az állandó terrigén anyagforráshoz közel helyezkedett el, így a

lejtőről folyamatos volt az üledék gravitációs átülepedése. A VETŐ et al. (2000) által közölt adatokat felhasználva egyértelműen kimutatható az összes S és a TOC közötti határozott lineáris korreláció. Az adatokra illeszthető egyenes tengelymetszete pozitív, azonban kis érték (*6. ábra, b*). A Kösseni Formáció alsó és felső szakaszából származó minták, valamint több, a középső szakaszt képviselő minta S-tartalma kiemelkedő (még a viszonylag kisebb TOC-tartalom mellett is jelentős). Munkánkban az összes S mennyiségén túl a S_{py} mennyiségét nem határoztuk meg, azonban VETŐ et al. (2000) és HETÉNYI et al. (2002) eredményeit figyelembe véve feltételezhető, hogy a S–TOC diagramon megfigyelhető összefüggés a szervesanyag nagy S-tartalmának a következménye. Figyelemre méltó továbbá, hogy a középső szakaszt képviselő mintapontok többsége az oxikus–szuboxikus környezet határának megfelelő összetételt jelző egyenes környezetében helyezkedik el (*6. ábra, b*), ezért – RIMMER (2004) értelmezésével analóg módon – az Rzt–1 fúrás Kösseni Formációba tartozó rétegsorának kialakulásakor állandó, tartós anoxia nem állhatott fenn. Az üledékképződés bizonyos szakaszaiban a redox környezet a normál tengeri viszonyoknak felelhetett meg. Ez összhangban van VETŐ et al. (2000) megfigyelésével, amely szerint a bentosz *Eoguttulina* foraminifera előfordulása kizárja az állandó szulfidos aljzatvíz jelenlétét.

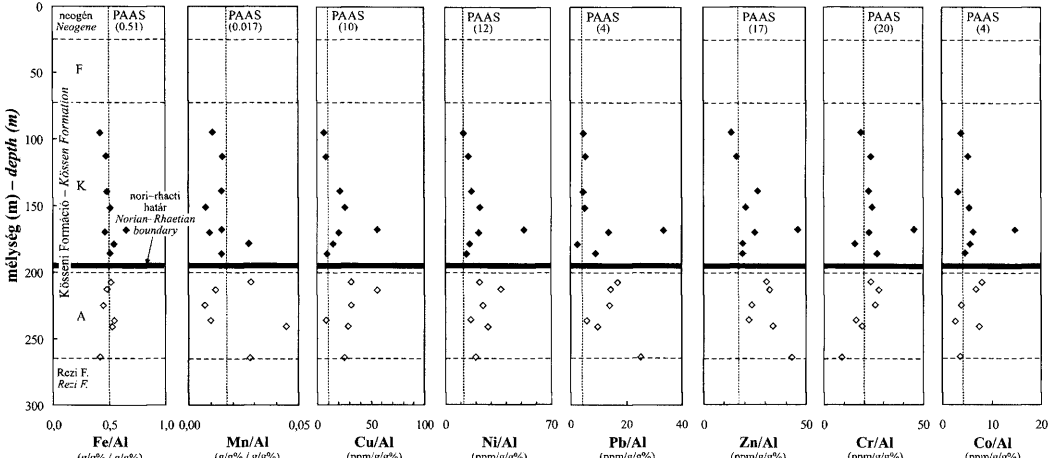
Hasonló következtetés vonható le a Fe_{tot}–TOC–S diagram (*7. ábra*), valamint a DOP–mélység diagram (*8. ábra*) eredményéből. A Rezi Formációt képviselő, igen kis TOC-, S- és Fe-tartalmú mintához képest, amely a normál tengeri S/C arányt jelző egyenes meghosszabítása közelében, gyakorlatilag a TOC–S él mentén helyezkedik el (*7. ábra*), a Kösseni Formáció alsó szakaszából származó valamennyi minta a pirit sztöchiometrikus összetételének megfelelő egyenes alatt csoportosul. Ezen a diagramon a Fe-korlátozott piritképződéssel jellemzett üledék összetételét tükröző mintapontok – állandó S/Fe arányt és változó TOC-tartalmat jelölve – a TOC csúcsból kiinduló, a Fe–S élhez tartó egyenesek mentén helyezkednek el (DEAN & ARTHUR 1989; ARTHUR & SAGEMAN 1994). A mintapontok korábban részletezett eloszlása ezért alátámasztja azt a következtetést, hogy az Rzt–1 fúrás vizsgált szakaszának kialakulásakor az üledékképződési környezet nem volt Fe-korlátozott. Az adatok a „kén felesleg" mezőben találhatók, amely szintén a kerogén nagy S-tartalmát tükrözi. Az alsó szakasz kialakulásakor állandó anoxikus környezeti feltételekkel, valamint erősen rétegzett vízoszloppal számolhatunk (*8. ábra*). Ezzel ellentétben a Kösseni Formáció középső szakaszát képviselő minták sokkal heterogénebb őskörnyezeti viszonyokat tükröznek. Az Fe_{tot}–TOC–S diagramban (*7. ábra*) a minták fele az alsó szakasz mintáival mutat rokonságot, a többi mintapont azonban a normál tengeri redox viszonyoknak megfelelő S/C=0,4 egyenest közelíti. A DOP viszonyszámok alapján az anoxikus (alsó szakasz) környezetet a középső szakaszban diszoxikus környezet váltotta fel, majd változó rétegzettségű vízoszlopban ismét anoxikus környezet alakult ki, amely a javuló O_2-ellátottság következtében fokozatosan diszoxikus, majd oxikus (normál tengeri) üledékképződési környezet irányába tolódott el (*8. ábra*).

A redox-érzékeny elemek teljes kőzetből meghatározott koncentrációja olyan „keverék" értéknek tekinthető, amelyet egyrészt a törmelékes komponensek, másrészt az autigén fázisok alakítanak ki. Az üledékképződés során a vízoszlop redox viszonyaiban bekövetkező változások azonban csak az autigén komponensek

koncentrációját befolyásolják (CRUSE & LYONS 2004). A szervesanyagban gazdag üledékekben és üledékes kőzetekben – a pirit képződésével párhuzamosan – a törmelékes frakcióhoz viszonyítva a vas dúsulása lehet jelentős (RAISWELL et al. 1988; CRUSE & LYONS 2004), amely a Fe/Al arány növekedését okozza a normál tengeri (pl. PAAS) szinthez képest. Ezzel ellentétben reduktív körülmények között a mangán koncentrációja fokozatosan csökken (ALGEO & MAYNARD 2004; CRUSE & LYONS 2004; RAUCSIK et al. 2005), így diszoxikus–anoxikus környezetben a Mn/Al hányados kisebb lesz a normál tengeri környezetet jelző értéknél. A redox-érzékeny nyomelemek (pl. Mo, U, V, Ni, Zn, Pb) anoxikus környezeti feltételek mellett a szervesanyagban gazdag képződményekben dúsulnak. Ezt a folyamatot – közvetlen vagy közvetett módon – a szervesanyag és a nyomelem között fellépő kölcsönhatások (Mo, U, V, Ni) vagy a szulfidásványok (leggyakrabban pirit) formájában történő kicsapódásuk befolyásolja (ALGEO & MAYNARD 2004; CRUSE & LYONS 2004). ALGEO & MAYNARD (2004) modellje szerint az anoxikus, nem szulfidos fáciesben – az általunk vizsgált nyomelemek közül – a Zn, az Pb, a Cu, a Ni és a Cr mérsékelt dúsulása figyelhető meg. Euxin, azaz szulfidos anoxikus környezetben az előbbi elemeken túl a Co dúsulása szintén számottevő lehet, továbbá a nem szulfidos fácieshez viszonyítva – bakteriális reakciók eredményeként – a Cr koncentrációja csökkenhet (ALGEO & MAYNARD 2004).

Az Rzt–1 fúrásban a redox-érzékeny főelemek (vas, mangán) Al-ra normált koncentrációjának mélység szerinti változását (*9. ábra*) értelmezve megállapítható, hogy a Kösseni Formáció alsó és középső szakaszában nincs lényeges eltérés a Fe/Al arányban, az adatok a normál tengeri elemaránynak megfelelően nem tükröznek jelentős piritképződést. Ez összhangban van a Kösseni Formáció korábbi ásványtani vizsgálati eredményével (VETŐ et al. 2000), amely alapján 1–3% pirit fordult elő a vizsgált bitumenes márgákban, mészmárgákban (*1. táblázat*). A normál tengeri összetételhez viszonyítva a Mn/Al arány kis értéke (4 minta kivételével) oxigénszegény (diszoxikus–anoxikus) környezeti feltételekre utal, azonban jelentős mennyiségű karbonátot tartalmazó üledékképződési rendszerben a Mn/Al hányadost egyéb folyamatok – például a Ca^{2+}-ionokat helyettesítve a Mn^{2+} beépülése a kalcit kristályrácsába – szintén befolyásolhatják (BELLANCA et al. 1996).

A normál tengeri összetételre (PAAS) jellemző redox-érzékeny nyomelem/Al aránynál nagyobb nyomelem/Al értékek (*9. ábra*) oxigénhiányos környezetet (anaerob biofácies) jeleznek az üledékképződés bizonyos szakaszaiban. Az egyes hányadosokban megfigyelhető jelentős ingadozások az aljzat redox állapotának változásait jelzik. Az alsó szakaszban megfigyelhető nagy Cu/Al, Ni/Al, Pb/Al és Zn/Al értékek, valamint a Cr/Al és a Co/Al PAAS-hez közeli (esetleg mérsékelt dúsulásra utaló) értéke anoxikus környezetet jeleznek. A középső szakasz mintapontjainak elhelyezkedése megerősíti a TOC–S–Fe_{tot} összefüggések alapján levont következtetéseket: a középső szakasz idősebb részén anoxikus (diszoxikus) környezet, fiatalabb részén oxikus (normál tengeri) üledékképződési környezet állhatott fenn. Az Rzt–1 fúrás vizsgált szakaszában euxin környezeti feltételekre sem a TOC–S–Fe_{tot} összefüggések, sem a redox-érzékeny nyomelemek mennyiségi viszonyaiban megfigyelhető változások nem utalnak.



9. ábra. A redox-érzékeny elemek Al-ra normált koncentrációaránya a Kösseni Formáció Rzt–1 fúrási szelvényében (A: alsó szakasz; K: középső szakasz; F: felső szakasz). A függőleges szaggatott vonalak a PAAS referencia megfelelő fém/alumínium koncentrációarányát jelölik (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001)

Fig. 9 Al-normalised redox-sensitive element concentration ratios in the Rzt–1 core section of the Kössen Formation (A lower interval; K middle interval; F upper interval). Vertical dashed lines indicate the metal/aluminium concentration ratios for PAAS standard (TAYLOR & MCLENNAN 1985; MCLENNAN 2001)

Következtetések

A Kösseni Formáció szervetlen geokémiai jellemzéséhez a Rezi Rzt–1 fúrás (Keszthelyi-hegység) 95,2–264,0 m közötti szakaszából 14 bitumenes márga–mészmárga kőzetmintát választottunk ki. A feküképződményből (Rezi Formáció) – összehasonlító mintaként – megvizsgáltunk egy bitumenes dolomit kőzetmintát (274,0 m-ből) is.

A PAAS összetételhez viszonyítva a Kösseni Formáció alsó és középső szakaszát képviselő minták fő- és nyomelem dúsulási tényezői nagyon hasonló általános bélyegekkel jellemezhetők. Valamennyi minta jelentős mértékű CaO- és Sr-dúsulást mutat (a kalcittartalom felhígító hatása következtében), továbbá a P_2O_5, a Cs az Pb, a Ni, a Zn és a Cu mennyiségében legtöbbször szintén dúsulás figyelhető meg. Ezzel ellentétben a legtöbb minta szegényedik a Na_2O, a MnO, a Rb, a Ba, a Zr, a La és a Ce vonatkozásában. A PAAS összetételéhez viszonyítva a SiO_2, a TiO_2, a Fe_2O_3, a MgO, a K_2O, a Cr és a Co koncentrációjában általában sem dúsulás, sem szegényedés nem tapasztalható. A fő- és nyomelemek dúsulási tényezőinek változékonyságát az egyes minták eltérő ásványos összetétele (változó terrigén komponens–karbonátásvány arány), valamint ingadozó TOC-tartalma okozza. Az általános tendenciától jelentős mértékben eltérő összetételű, 264,0 m-ből vett mintában a MgO és a CaO dúsulási tényezője kiemelkedően nagy, amely jelentősebb dolomittartalomra utal. Ez a minta a Kösseni Formáció legalsó, átmeneti jellegű szakaszát képviseli, ezért kémiai összetétele a Rezi Formációt képviselő bitumenes dolomit összetételével mutat rokonságot.

Az őskörnyezet redox viszonyainak jellemzésére az Rzt–1 fúrás vizsgált kőzetmintáiból meghatározott TOC adatokat, az összes kén (S) és vas (Fe_{tot}) mennyiségét, valamint a redox-érzékeny elemek Al-ra normált mennyiségét használtuk fel. A Rezi Formációt képviselő, kiugróan nagy karbonáttartalmú minta (274,0 m) TOC-, S-, Fe_2O_3- és redox-érzékeny elemtartalma egyaránt nagyon kicsi, ezért a kapott adatok az üledékképződési környezet megbízható jellemzésére nem alkalmasak. A Kösseni Formáció kőzetanyagából vizsgált minták S és TOC adatai között egyértelműen kimutatható a határozott lineáris korreláció. A Fe_{tot}–TOC–S diagram, a DOP viszonyszámok és a redox-érzékeny elemek mennyisége alapján a Kösseni Formáció alsó szakaszának kialakulásakor állandó anoxikus környezeti feltételekkel (erősen rétegzett vízoszlop) számolhatunk. Ezzel ellentétben a Kösseni Formáció középső szakaszában a vizsgált őskörnyezeti paraméterek az aljzat redox állapotának változásait jelzik. Eredményeink alapján az anoxikus környezetet a középső szakasz képződése idején diszoxikus (185,9 m-ből és 178,8 m-ből vett minták) környezet váltotta fel, ezt követően változó rétegzettségű vízoszlopban ismét anoxikus környezet alakult ki (~170,0–150,0 m közötti szakasz). Ez a javuló O_2-ellátottság következtében fokozatosan diszoxikus (139,2 m-ből és 113,2 m-ből vett minták), majd oxikus – azaz normál tengeri – (95,2 m-ből vett minta) üledékképződési környezet irányába tolódott el.

Köszönetnyilvánítás

Az Rzt–1 fúrás porított kőzetmintáit HAAS János és HETÉNYI Magdolna bocsátotta rendelkezésünkre. A szerzők köszönetet mondanak BRUKNERNÉ WEIN Alicenak,

HÁMORNÉ VIDÓ Máriának, SAJGÓ Csanádnak és VETŐ Istvánnak a kutatás különböző fázisaiban adott hasznos tanácsokért és segítő észrevételekért. SZAUER Mihálynét a röntgenfluoreszcens mérések során nyújtott technikai segítségéért illeti köszönet.

Irodalom – References

ALGEO, T. J. & MAYNARD, J. M. 2004: Trace-element behavior and redox facies in core shales of Upper Pennsylvanian Kansas-type cyclothems. – *Chemical Geology* **206**, 289–318.

ARTHUR, M. A. & SAGEMAN, B. B. 1994: Marine black shales: depositional mechanisms and environments of ancient deposits. – *Annual Reviews on Earth and Planetary Sciences* **22**, 499–661.

BELLANCA, A., CLAPS, M., ERBA, E., MASETTI, D., NERI, R., PREMOLI SILVA, I. & VENEZIA, F. 1996: Orbitally induced limestone/marlstone rhythms in the Albian–Cenomanian Cismon section (Venetian region, northern Italy): sedimentology, calcareous and siliceous plankton distribution, elemental and isotope geochemistry. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **126**, 227–260.

BERNER, R. A. 1970: Sedimentary pyrite formation. – *American Journal of Sciences* **268**, 1–23.

BERNER, R. A. 1984: Sedimentary pyrite formation: an update. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, 605–615.

BRUKNER-WEIN, A. & VETŐ, I. 1986: Preliminary organic geochemical study of an anoxic Upper Triassic sequence from W. Hungary. – *Organic Geochemistry* **10**, 113–118.

BRUMSACK, H.-J. 2006: The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **232**, 344–361.

CLAYTON, J. L. & KONCZ, I. 1994: Petroleum geochemistry of the Zala Basin, Hungary. – *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* **78**, 1–22.

CRUSE, A. M. & LYONS, T. W. 2004: Trace metal records of regional paleoenvironmental variability in Pennsylvanian (Upper Carboniferous) black shales. – *Chemical Geology* **206**, 319–345.

DEAN, W. E. & ARTHUR, M. A. 1989: Iron-sulfur-carbon relationships in organic-carbon-rich sequences. I. Cretaceous Western Interior Seaway. – *American Journal of Sciences* **289**, 708–743.

GÓCZÁN F. 1987: Jelentés a Rezi–1. fúrás palynológiai vizsgálatáról. – In: BUDAI T. (összeáll.): Összefoglaló jelentés a Rezi Rzt–1 fúrás vizsgálati eredményeiről. Kéziratos jelentés, Országos Földtani és Geofizikai Adattár, pp. 74–93.

HAAS J. 1993: A „Kösseni-medence" kialakulása és fejlődése a Dunántúli-középhegységben. – *Földtani Közlöny* **123/1**, 9–54.

HAAS, J. 2002: Origin and evolution of Late Triassic backplatform and intraplatform basins in the Transdanubian Range. – *Geologica Carpathica* **53/3**, 159–178.

HAAS J. (szerk.) 2004: Magyarország geológiája, Triász. – Eötvös Kiadó, Budapest, 384 p.

HETÉNYI, M. 1989: Hydrocarbon generative features of the upper Triassic Kössen Marl from W Hungary. – *Acta Mineralogica–Petrographica, Szeged* **30**, 137–147.

HETÉNYI, M. 2002: Organic facies distribution at the platformward margin of the Kössen basin. – *Acta Mineralogica–Petrographica, Szeged* **43**, 19–25.

HETÉNYI, M., BRUKNER-WEIN, A., SAJGÓ, Cs., HAAS, J., HÁMOR-VIDÓ, M., SZÁNTÓ, Zs. & TÓTH, M. 2002: Variations in organic geochemistry and lithology of a carbonate sequence deposited in a backplatform basin (Triassic, Hungary). – *Organic Geochemistry* **33**, 1571–1591.

KONCZ I. 1990: Nagylengyel és környéke kőolaj-előfordulásainak eredete. – *Általános Földtani Szemle* **25**, 55–82.

LEVENTHAL, J. S. 1983: An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as an indicator of environments of deposition. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* **47**, 133–138.

MCLENNAN, S. M. 2001: Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. – *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **2**, 2000GC000109, 24 p.

PETERDI A. 2002: Szerves anyagban gazdag felső-triász képződmények összehasonlító geokémiai vizsgálata. – Diplomadolgozat, Veszprémi Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék, Veszprém, 53 p.

RAISWELL, R., BUCKLEY, F., BERNER, R. A. & ANDERSON, T. F. 1988: Degree of pyritization of iron as a paleoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation. – *Journal of Sedimentary Petrology* **58/5**, 812–819.

RAUCSIK B., HORVÁTH H. & R. VARGA A. 2005: A Sándorhegyi Formáció szervetlen geokémiai vizsgálatának eredményei (Pécselyi Tagozat, Nosztori-völgy). – *Földtani Közlöny* **135/4**, 545–569.

RIMMER, S. M. 2004: Geochemical paleoredox indicators in Devonian-Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA). – *Chemical Geology* **206**, 373–391.

RIMMER, S. M., THOMPSON, J. A., GOODNIGHT, S. A. & ROBL, T. L. 2004: Multiple controls on the preservation of organic matter in Devonian–Mississippian marine black shales: geochemical and petrographic evidence. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **215**, 125–154.

SCHULTZ, R. B. 2004: Geochemical relationships of Late Paleozoic carbon-rich shales of the Midcontinent, USA: a compendium of results advocating changeable geochemical conditions. – *Chemical Geology* **206**, 347–372.

TAYLOR, S. R. & MCLENNAN, S. M. 1985: The Continental Crust: its Composition and Evolution. – Blackwell Scientific Publications Ltd, 312 p.

VETŐ, I., HETÉNYI, M., HÁMOR-VIDÓ, M., HUFNAGEL, H. & HAAS, J. 2000: Anaerobic degradation of organic matter controlled by productivity variation in a restricted Late Triassic basin. – *Organic Geochemistry* **31**, 439–452.

Kézirat beérkezett: 2006. 03. 01.

Földtani Közlöny 136/4, 487–502. (2006) Budapest

Késő-kréta kontinentális gerincesfauna a Bakonyból I: halak, kétéltűek, teknősök, gyíkok

The Late Cretaceous continental vertebrate fauna from the Bakony Mountains I: fishes, amphibians, turtles, squamates

MAKÁDI László[1] – BOTFALVAI Gábor[1] – ŐSI Attila[1]

(4 ábra)

Tárgyszavak: halak, kétéltűek, teknősök, gyíkok, moszaszauruszok, Bakony hegység, felső-kréta, Csehbányai Formáció
Keywords: fishes, albanerpetontids, turtles, lizards, mosasaurs, Bakony Mts, Upper Cretaceous, Csehbánya Formation

Abstract

Since its discovery in 2000 the Iharkút Late Cretaceous continental vertebrate locality has yielded a large number of bones. The locality is an open-pit bauxite mine near the village of Iharkút in the northern Bakony Mts, western Hungary. The bones were found in the Upper Cretaceous (Santonian) Csehbánya Formation, which is an alluvial floodplain deposit, mainly consisting of variegated clays, siltstones, sand and sandstones. Most of the remains were yielded by a bone-bed type layer, deposited as a result of a sudden flood. In this sediment all vertebrate remains are isolated bones of different animals.

Fish remains are abundant among these bones. Three taxa are present in the material. One of them is an indeterminate pycnodontiform represented by several hundreds of isolated teeth and 18 lower jaws. These jaws bear 3–4 rows of characteristic teeth. Pycnodontiform fishes are mainly marine, but from a few localities they were identified in fresh-water sediments, similar to the Iharkút locality.

The other two fishes are lepisosteiform ones identified as *Lepisosteus* sp. and *Atractosteus* sp. *Lepisosteus* is represented by teeth with a simple, pin-shaped apex and by a few ganoid scales. *Atractosteus* can be identified in the material after teeth similar to those of *Lepisosteus* but having compressed, lance-like apexes, and after three characteristic vertebrae. These are the oldest known European Late Cretaceous occurrences of lepisosteiforms. The same two genera were also recognised in the Late Campanian Laño (Spain) locality.

The only amphibian remains found at the locality were indeterminate albanerpetontid lower jaws. The original number of teeth might have been between 20–23. The tooth crowns are broken. In the Mediterranean, albanerpetontids are known from various Late Createaceous localities, such as Laño and the Haţeg Basin (Transylvania). The Hungarian remains indicate the presence of the group in the region during the Santonian.

The most common vertebrate fossils in the material are turtle remains, mostly indeterminate shell fragments. A new taxon was identified from the locality, represented by two skulls and a partial carapace. It belongs to the family Bothremydidae, and it is closely related to *Foxemys* described from the Campanian of southern France. The members of this family are well known from the Campanian and Maastrichtian localities of southern France, Spain and Portugal as well as from Africa, India and South America.

Squamate remains represent a significant part of the Iharkút material. Four taxa were identified. One of these is a medium-sized indeterminate lizard represented by a single fragmentary dentary, with no teeth preserved.

The second one is an indeterminate scincomorph known from a dentary fragment bearing teeth with laterally compressed assymmetric bicuspid crowns. The dentary is very similar to an indeterminate scincomorph described from Laño.

[1]ELTE, Őslénytani Tanszék, H–1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

The third squamate is known from six more or less preserved dentaries, and has been assigned to the polyglyphanodontine lizard genus *Bicuspidon* on the basis of the morphology of its heterodont dentition. The genus is known from the Albian–Cenomanian of North America and from the Maastrichtian of the Haţeg Basin.

The most abundant squamate in the Iharkút fauna is a large mosasaur. More than a hundred isolated bones of different individuals were identified. This new primitive mosasaur, uniquely among mosasaurs adapted to a freshwater environment and was a top predator of the waters of the area. It shows a close relation with *Tethysaurus nopcsai* from the Turonian of Morocco.

Összefoglalás

Az iharkúti késő-kréta kontinentális gerinces lelőhely 2000. évi felfedezése óta nagy számú csont került elő az Északi-Bakony területéről, Iharkút határából, a felső-kréta Csehbányai Formációból (Németbánya–II-es és –III-as bauxit lencsék fedője). A maradványok között gyakori a halmaradvány. Három különböző haltaxont sikerült elkülöníteni, ezek közül az egyik a néhány kivételtől eltekintve tengeri Pycnodontiformes, kettő (*Lepisosteus* sp., *Atractosteus* sp.) pedig a Lepisosteiformes csoportba sorolható. A kétéltűeket eddig csupán albanerpetontida állkapocs töredékek képviselik. A lelőhelyről legnagyobb számban teknősmaradványok kerültek elő, melyek alapján egy a Bothremydidae családba tartozó új taxon azonosítható. A gyíkok jelentős hányadát teszik ki a faunának mind fajszám, mind egyedszám tekintetében. Egy eddig meghatározatlan gyík mellett kimutatható két Scincomorpha, melyek közül az egyik besorolható a *Bicuspidon* genusba. A leggyakoribb gyík maradványok egy új, édesvízi moszaszaurusznak tulajdoníthatók, mely az iharkúti terület vizeinek nagy méretű csúcsragadozója lehetett.

Bevezetés, kutatástörténet

NOSZKY Jenő már az 1950-es években felvetette, hogy vajon mi lehet az oka, hogy ez idáig nem kerültek elő gyakrabban gerincesek maradványai a magyarországi mezozoos rétegekből, hiszen számos olyan üledékes kőzet van, mely gerincesek lelőhelyéül szolgálhatna (CSÁSZÁR G., szóbeli közlés).

W. G. KÜHNE gerinces paleontológus az 1980-as években KORDOS László és KOZMA Károly vezetése mellett több napot töltött el az ajkai szénbányák meddőjén, ahol az Ajkai Kőszén Formáció rétegeiben eredménytelenül kutatott csontok után (KORDOS L., szóbeli közlés).

A mai Magyarország területéről ismeretes néhány szórványlelet a mezozoikumi üledékekből, ezek azonban szinte kizárólag tengeri gerincesek maradványai. Leghíresebb talán a veszprémi Jeruzsálem-hegy felső-triász rétegeiből előkerült *Placochelys placodonta* JAEKEL, 1911, melyre LACZKÓ Dezső tanár bukkant 1899-ben (JAEKEL 1911). Majd 1963-ban KOCSIS Lajos magángyűjtő fedezte fel a *Senonemys* tengeri teknős maradványait a Sümeg melletti Kecskevári-kőfejtőben (BOHN 1966). Továbbá 1996-ban találták magángyűjtők egy tengeri krokodil töredékes, ám összefüggő csontvázát a Nagy-Pisznice egyik elhagyott kőbányájában.

Mezozoos szárazföldi kőzetekből gerincesek maradványai sokáig szinte ismeretlenek voltak a mai Magyarország területéről. Ez részben annak is köszönhető, hogy a magyarországi mezozoikum uralkodóan tengeri képződményekből épül fel. KRETZOI (1951) az olaszfalui középső-kréta (albai) bauxitból krokodilfogat és egy csonttöredéket említ. Továbbá néhány csonttöredék került elő a villányi Mészhegyi Formációból (RÁLISCHNÉ FELGENHAUER & TÖRÖK 1993, RÁLISCHNÉ FELGENHAUER, szóbeli közlés), melyeket azonban soha nem határoztak meg pontosabban.

2000-ig gyakorlatilag nem ismertünk jelentősebb mezozoos kontinentális gerinces lelőhelyet a mai Magyarországról. Első kutatásaink 1997-ben kezdődtek a felső-kréta Ajkai Kőszén Formáció vizsgálatával. Rengeteg gyűjtés és vizsgálat után először 1999-ben bukkantunk gerinces leletekre a formáció szenes, homokos, márgás kőzeteinek iszapolásával. Ezek az első leletek hal- és krokodilfogak voltak. Ezenkívül a terepbejárások során egy töredékes Mosasauroidea-csigolya is előkerült.

2000 tavaszán figyelmünk a szintén felső-kréta Csehbányai Formáció felé fordult, melyet Iharkúton a Németbánya–II-es és –III-as lencsék letermelésére kialakított hatalmas külfejtés mintegy 60 méteres vastagságban tárt fel. A bánya É-i részén a rétegsor felvétele közben egy homokkőpadból kerültek elő az első gerinces maradványok (ŐSI et al. 2003). Erről a lelőhelyről származnak többek között Magyarország első dinoszaurusz testfosszíliái is (ŐSI 2004 – *1. ábra*).

A következő években számos kisebb kutató- és gyűjtőút mellett rendszeresen több hetes, 15–20 főből álló kutatótáborokat szerveztünk, melyek során összefüggő csontvázak és több ezer önálló csontmaradvány és fog került elő. A begyűjtött leletek alapján az eddig ismert faunát halak, kétéltűek, teknősök, gyíkok, krokodilok, dinoszauruszok, pteroszauruszok és madarak képviselik.

Ennek az összefoglaló cikknek a témáját az iharkúti lelőhely földtani hátterének rövid ismertetése után a területről előkerült gerincesfauna, részletesebben pedig a halak, kétéltűek, teknősök és gyíkok csoportjainak bemutatása adja.

Az Iharkútról előkerült összes ősmaradvány a Magyar Természettudományi Múzeum (MTM) tulajdonát képezi.

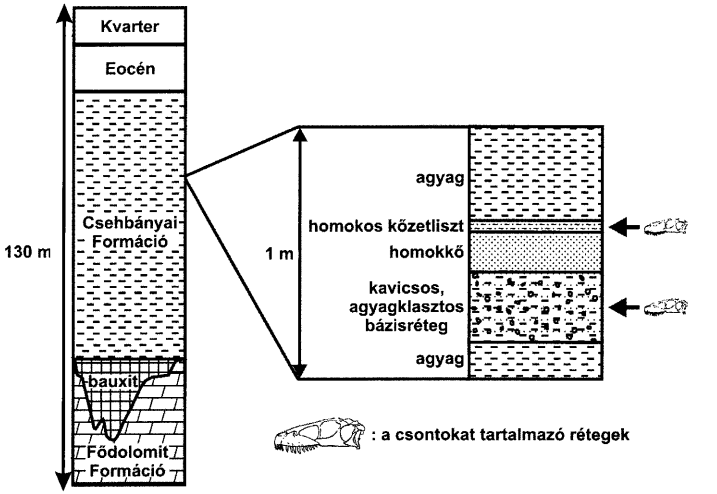
1. ábra. A magyarországi késő-kréta szárazföldi gerinces lelőhely földrajzi elhelyezkedése

Fig. 1 Location of the Hungarian Late Cretaceous continental vertebrate locality

Földtani háttér

A terület földtani felépítése

Az iharkút-németbányai bauxitterület nagyrészt a bauxitvagyon kutatásának, továbbá a felső-kréta üledékciklus elemzésének és értelmezésének köszönhetően a Dunántúli-középhegység, az Északi-Bakony földtanilag egyik legalaposabban megkutatott területe (HAAS & JOCHA-EDELÉNYI 1979, MINDSZENTY et al. 1984, GELLAI et al. 1985). Az iharkúti területen felszínre bukkanó legidősebb képződmény a felső-triász dolomit (Fődolomit Formáció), mely egyben a területen kutatott és bányászott bauxit (Nagytárkányi Bauxit Formáció) bázisképződménye (*2. ábra*). A Nagytárkányi Bauxit kiindulási anyaga a Fődolomit tektonikusan preformált, karsztos mélyedéseiben halmozódott fel, ahol aztán kitűnő minőségű bauxittá alakult. A



2. ábra. A lelőhely sematikus rétegsora

Fig. 2 Litological column of the locality

töbrök egyes esetekben elérik a triász felszíntől számított 60–80 méteres mélységet, így a területre a rendkívül vastag, ám gyakran igencsak kis laterális átmérőjű telepek a jellemzőek. A bauxitra eróziós felszínnel települ a Csehbányai Formáció, mely uralkodóan folyóvízi–ártéri környezetben lerakódott homok, homokkő, aleurolit, tarkaagyag, agyagmárga rétegeinek váltakozásából áll (HAAS et al. 1977, JOCHA-EDELÉNYI 1988, JOCHA-EDELÉNYI & CSÁSZÁR 1997). A Csehbányai Formáció elterjedését tekintve két 10–15 km széles, ÉK–DNy-i csapású, Bakonybéltől Gyepükajánig húzódó zónában fejlődött ki. 200 m körüli, maximális vastagságát a Csehbányai-medencében éri el, az iharkúti területen mintegy 50–60 méteres vastagságban van feltárva (JOCHA-EDELÉNYI 1988). A palynológiai vizsgálatok alapján a formáció santoni korú (KNAUER & SIEGL-FARKAS 1992), bár HAAS (2001) legkorábbi képződésének idejét a coniaciba teszi. Az iharkúti területen a Csehbányai Formációt helyenként középső-eocén nummuliteszes Padragi Mészkő, majd uralkodóan ennek a mészkőnek az anyagát tartalmazó középső-eocén Iharkúti Konglomerátum Formáció, továbbá az oligo-miocén Csatkai Formáció fedi. Egyes területeken – az utólagos tektonikának és eróziónak köszönhetően – esetenként csak kvarter fedőképződmények jelennek meg (GELLAI et al. 1985).

A Csehbányai Formáció csonttartalmú rétegei

A csonttartalmú rétegek a Csehbányai Formációban találhatók, mely a lelőhelyeken (Németbánya–II-es és –III-as lencse) a bauxit közvetlen fedője. A rétegsor

uralkodóan finomszemcsés, ártéri képződményekből (kőzetliszt, agyag) áll és ciklusos felépítésű. A ciklotémák bázisán előfordul, hogy kevert homokos, néhol kavicsos, feltépett agyagklasztokat és gyakran csontokat tartalmazó („bonebed") rétegek települnek (ŐSI et al. 2003). A csontok 70%-a ezekből a rétegekből került elő. A ciklotémák vastagsága változó. Esetenként a 6–8 m-es vastagságot is elérhetik, ilyenkor jelentős vastagságú tarkaagyag, aleurolit (mint talajosodott ártéri fáciesek) zárják a ciklust.

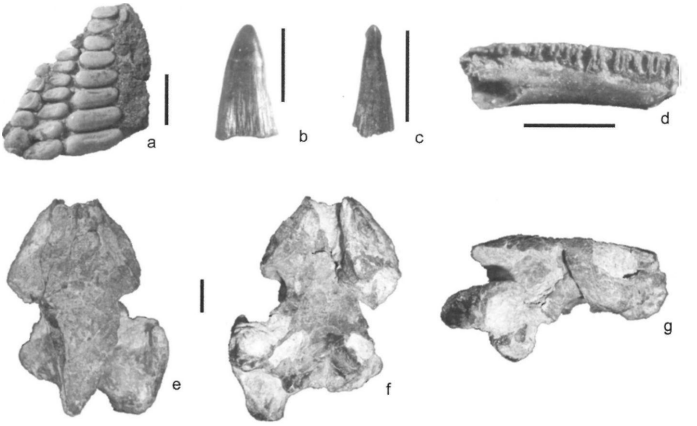
A csonttartalmú bázisrétegek vastagsága és a benne lévő kavicsok, agyagklasztok és csontok mérete érdekes összefüggést mutat. Van, ahol a réteg nem éri el a 10 cm-es vastagságot, a benne lévő csontok pedig nem haladják meg a 15 cm-t. (Ezek közül a nagyobb méretűek pedig kivétel nélkül helyben élt, vízi állatoktól, pl. teknősöktől származtak.) Más helyeken a csontos rétegek vastagsága a 40 cm-t is eléri, s benne nem ritkák a 25 cm-t meghaladó csontok. Jellemző továbbá, hogy az ilyen típusú, csonttartalmú rétegek csatornakitöltések gyanánt, bevágódnak az alattuk lévő agyagos, aleurolit rétegekbe. A csontok foltokban, lencsékben („csomagokban") koncentráltan fordulnak elő. A ciklusok felfelé finomodnak, a durva bázisképződmények után finomabb homok és helyenként (szál-2, szál-4, szál-6) barna szenesedett növényi maradványokat tartalmazó aleurolit következik. Ez utóbbi a második csonttartalmú réteg, melynek maximális vastagsága 1–2 m. Ebből a rétegből kerültek elő az első csontvázak. Az eddigi vizsgálatok alapján tehát úgy tűnik, hogy a csontok, esetenként csontvázak dúsulása olyan réteghatárokhoz, illetve rétegekhez kötődik, ahol az üledékképződés energiája hirtelen nagymértékben megnövekedett (durva homok+„bonebed"), majd ezt követően lecsökkent (növénymaradványos aleurolit).

Rendszertani rész

Halak

Osteichthyes HUXLEY, 1880
Actinopterygii KLEIN, 1885
Actinopteri COPE, 1871
Neopterygii REGAN, 1925
Pycnodontiformes LEHMAN, 1966
Pycnodontiformes indet.

A pycnodontiform csoportba sorolható leletek (*3. ábra, a*) a leggyakoribb halmaradványok a területen. Több száz izolált fog, továbbá 18 darab alsó állkapocs (5 jobb és 13 bal oldali) került elő (MTM még nem katalogizált). Az állkapocsban négy sorban helyezkednek el a méretükben és alakjukban különböző fogak, bár a legtöbb állkapocsban csak a külső három sor maradt meg. A fogak száma soronként változó és a vizsgált egyedek korától függően a fogak száma is változik. A legbelső, lingvális sorban ülő fogak a legkisebbek és általában kerekded alakúak. Belülről kifelé haladva a második sor tartalmazza a legnagyobb méretű fogakat. Némelyik fog hossza meghaladja a 1,5 cm-t. A fogak labiolingválisan elnyúltak, a posterior oldaluk enyhén konvex, az anterior oldaluk egyenes vagy enyhén konkáv. A harmadik sorban ülő fogak méretükben kisebbek, alakjukban azonban nagyon hasonlóak a második sor fogaihoz. A legkülső sorban ülő fogak kisebbek az előző sorban ülőknél



3. ábra. Hal, kétéltű, és teknősmaradványok a felső-kréta Csehbányai Formációból, Iharkút, Bakony. a: Pycnodontiformes indet. bal alsó állkapocs occlusalis nézetben, b: *Lepisosteus* sp. fog, c: *Atractosteus* sp. fog, d: Albanerpetontidae indet. bal dentale töredék lingvális nézetben, e–g: Bothremydidae indet. töredékes koponya dorzális (e), ventrális (f), jobb laterális (g) nézetben. Méretarány: a, e–g: 1 cm; b, c: 5 mm; d: 1 mm

Fig. 3 Fish, amphibian and turtle remains from the Late Cretaceous continental Csehbánya Fm., Iharkút, Bakony Mts. a: Atractosteus sp. tooth, b: Lepisosteus sp. tooth, c: Pycnodontiformes indet. left lower jaw in occlusal view, d: Albanerpetontidae indet. left dentary fragment in lingual view, e–g: Bothremydidae indet. fragmentary skull in dorsal (e), ventral (f), right lateral (g) views. Scale bar equals: a, e–g: 1 cm; b, c: 5 mm; d: 1 mm

és általában négy-, vagy háromszögletűek, ritkábban oválisak. A külső három fogsorban anterior irányban a fogak mérete csökken. A fogak occlusalis felszíne általában lekerekített, sima, egyes esetekben használatból eredően kopott vagy lyukas. Lingvális oldalról a második sorban ülő fogak occlusalis felszínén egy enyhe gerinc húzódik labiolingvális irányban.

Bár még részletes vizsgálatokat nem végeztünk, a fogak elrendeződése az Anomoedushoz nagyon hasonlít, jóllehet ott a legnagyobb fogakat tartalmazó sorban a fogak kevésbé elnyúltak, zömökebbek.

A Csehbányai Formációból előkerült pycnodontiform leletek azért nagy jelentőségűek, mert ez a csoport a kora-kréta Las Hoyas-i leletek bemutatásáig (néhány bizonytalan szórványlelettől eltekintve) csak tengeri üledékekből voltak ismertek (Poyato-Ariza et al. 1998). Az iharkútihoz hasonló, késő-kréta európai faunákból ez a csoport egyáltalán nem ismert. A formációban található csonttartalmú réteg biztosan édesvízi körülmények között rakódott le, melyet mind a rétegben található *Pyrgulifera* sp. és *Unio* sp. leletek (Szente I. szóbeli közlés), mind a formációból ismert édesvízi ostracodák (Monostori M. szóbeli közlés) is alátámasztanak. Az iharkúti területen gyakori pycnodontiform leletek arra utalnak,

hogy e csoport tagjai bár alapvetően tengeri körülményekhez alkalmazkodtak, bizonyos fajaik rendszeresen, huzamosabb ideig tartózkodtak az édesvízi, ártéri területeken.

Lepisosteiformes HAY, 1929
Lepisosteidae CUVIER, 1825
Lepisosteus LACEP DE, 1803
Lepisosteus sp.

A lelőhelyről előkerült rombusz alakú, vastag ganoid pikkelyek és több tucat izolált fog (MTM még nem katalogizált) jellegzetesen Lepisosteidae morfológiájúak. A fogak (*3. ábra, b*) közül néhány az Európa számos felső-kréta lelőhelyéről, köztük a Hátszegi-medencéből is ismert *Lepisosteus* genusszal azonosítható (GRIGORESCU et al. 1999). A fogak megnyúltak, kúposak, a korona hegye felé keskenyednek. A korona felső, erősen zománcozott, néha áttetsző része egyszerű, kúp alakú. A korona alsó kétharmadán hosszanti barázdák húzódnak.

Atractosteus RAFINESQUE, 1820
Atractosteus sp.

A Lepisosteidae fogak közül az *Atractosteus* genust nagyobb számban képviselik fogak (*3. ábra, a*, MTM még nem katalogizált). Ezeknek a felépítése nagyon hasonló a *Lepisosteus* fogakéhoz, a korona hegye azonban itt jellegzetesen enyhén lapított, lándzsa alakú. Sok esetben (pl. iszapolások során) csak ezek a keményebb, erősen zománcozott hegyek maradnak meg. A legnagyobb fogak mérete eléri a két cm-t. A fogak alapján ezek a ragadozó, elsősorban halevő halak testhossza meghaladta akár a 80–90 cm-t is (KAMMERER et al. in press).

A fogakon kívül még három csigolya is besorolható a genusba, melyek nagyon hasonlóak a spanyolországi Laño lelőhelyéről előkerült késő-campani *Atractosteus* csigolyákhoz (CAVIN 1999).

Az iharkúti lelőhelyről előkerült lepisosteida leletek azért jelentősek, mert ezek a csoport legidősebb európai előfordulásai a késő-krétában, és a lañói lelőhelyhez hasonlóan itt is mind a két genus képviselteti magát.

Kétéltűek

Allocaudata FOX et NAYLOR, 1982
Albanerpetontidae FOX et NAYLOR, 1982
Albanerpetontidae indet.

Kétéltű maradványok ez idáig biztosan csak a Németbánya–III-as bányaterület nyugati részén a felszíntől mintegy 40 méterre, egy legfeljebb 20–25 cm vastag sötét színű, finomszemcsés rétegből kerültek elő iszapolás útján még 2001-ben. Ezek állkapocs maradványok (*3. ábra, d*, MTM még nem katalogizált) és az Albanerpetontidae családba sorolhatóak. Az állkapocstöredékek, így a dentalében található fogak számát csak becsülni lehet 20–23 közöttire, hasonlóan a lañói lelőhelyről leírt *Albanerpeton* dentalékhoz. A fogkoronák morfológiája nem állapítható meg, mert a fogak vagy kopottak, vagy töröttek.

Az Európából ismert legtöbb kréta időszaki albanerpetontida lelet az *Albanerpeton* genusba sorolható. Az iharkúti leletek igazolják, hogy a csoport jelen volt a santoniban a Mediterráneumban.

Teknősök

Testudines LINNAEUS, 1758
Pleurodira COPE, 1864
Pelomedusoides COPE, 1868
Bothremydidae BAUR, 1891
Bothremydidae indet.

Az iharkúti felső-kréta gerinces lelőhelyről előkerült fosszíliák leggyakoribb elemei a teknőscsontok. Két koponya, egy bal alsó állkapocs, egy állkapocstöredék, nyaki- és háti csigolyák, továbbá számos teljes, illetve töredékes végtagcsont és több száz páncélelem képviseli a teknősöket.

Az előkerült két koponyán (*3. ábra, c–g*; MTM GYN.56, GYN.428) fellelhető anatómiai bélyegek hasonlóságot mutatnak, ezért egy taxonba sorolhatók. A koponyák dorzális nézetben háromszögletűek és bal laterális irányban deformálódtak. A koponyák külső morfológiájuk alapján biztosan a Pleurodira alrendbe tartoznak, mert a koponya ventrális felén elhelyezkedő pterygoideumoknak van egy laterális nyúlványa (processus trochlearis pterygoidei), valamint a koponya laterális oldalán elhelyezkedő quadratum szintén rendelkezik egy mediális nyúlvánnyal. A Pleurodira alrendbe tartozó teknősök főként abban különböznek a Cryptodira teknősöktől, hogy míg a Cryptodira teknősök hátrafelé húzzák be fejüket a páncél alá, addig a pleurodirák oldalsó irányban húzzák be nyakukat, és rejtik el a fejüket a hasi és a háti páncél közé. A fent említett két nyúlvány, a nyak oldalirányú mozgását segíti elő. A koponyák egyértelműen a Pelomedusoides főcsaládba sorolhatóak, mert a nasalék hiányoznak és ezáltal a koponyák megrövidülnek és a prefrontalék a középvonalon találkoznak (GAFFNEY & MEYLAN 1988).

A Pelomedusoides főcsaládon belül két fejlődési ág különíthető el. Az egyik ágon kizárólag a még számos primitív bélyeggel rendelkező Araripemydidae család, míg a másik fejlődési ágon a Bothremydidae, Podocnemididae és a Pelomedusidae családok alakultak ki (MEYLAN 1996). A koponyákon fellelhető stapedialis csatorna anterior irányban nyitott, és ez az anatómiai bélyeg egyértelműen a Bothremydidae családba sorolja be a koponyát és elkülöníti a Podocnemididae családtól melyeknél ez a csatorna dorzálisan nyitott.

A koponyák a legnagyobb hasonlóságot a dél-franciaországi *Foxemys* genusszal mutatják, mert dorzális nézetben háromszögletűek, a posteroventrális részükön található basisphenoideum-pterygoideum mélyedések azonos helyzetűek, a fültájékon található incisura columellae auris teljesen nyitott, valamint a condylus nincs kapcsolatban a basisphenoideummal (TONG et al. 1998).

Azonban a *Foxemys* genustól is számos bélyegükben különböznek a koponyák. Az incisura columellae auris nem hasítékszerű, az antrum postoticum nem látható ventrálisan, és a rágófelület alakja is eltérést mutat. Mivel az Iharkútról előkerült koponyák az eddigi vizsgálataink alapján egyik genusszal sem mutatnak teljes egyezést, ezért indokoltnak tűnik egy új taxon bevezetése.

A lelőhelyről felszínre került egy igen jó megtartású izolált bal alsó állkapocs is (MTM GYN.57), mely a koponyákhoz hasonlóan a Bothremydidae családba sorolható.

Az öt éve folyó ásatások során begyűjtött több száz páncélelem rendszertani határozásra nem alkalmas. Azonban a 2004-es ásatás során előkerült egy viszonylag nagyobb méretű, összefüggő carapax töredék (MTM GYN.429). A páncélelem biztosan a MTM GYN.428-as leltári számmal ellátott koponyához tartozik, mert egymástól mintegy tíz centiméterre helyezkedtek el és a közelükben más csonttöredéket nem találtunk. A 21 cm hosszú és 29 cm széles töredék az eredeti carapax hátsó egyharmad részét foglalja magában. A töredéken fellelhető a carapax utolsó három pleuralia lemez párja, az utolsó két vertebralis lemeze és a páncél szélét alkotó marginális lemezsor. A carapax töredék anterior részén elhelyezkedő első vertebralis lemez ventrális felén megtalálható a medenceöv jobb laterális nyúlványának töredéke. A páncéltöredék genus szintű határozásra nem alkalmas, de lényeges információt hordoz a területen élt Bothremydidae teknősök alakjáról és méretéről. A teknősök páncélja hosszanti irányban teljesen szimmetrikus, ezért a töredékből kiszámítható, hogy az eredeti carapax megközelítőleg 60 cm hosszú és 45 cm széles lehetett. Alakját tekintve hosszanti irányba megnyúlt és mind anterior, mind pedig posterior végén kiszélesedő ellipszis alakú carapaxszal rendelkeztek a területen élt Bothremydidae teknősök.

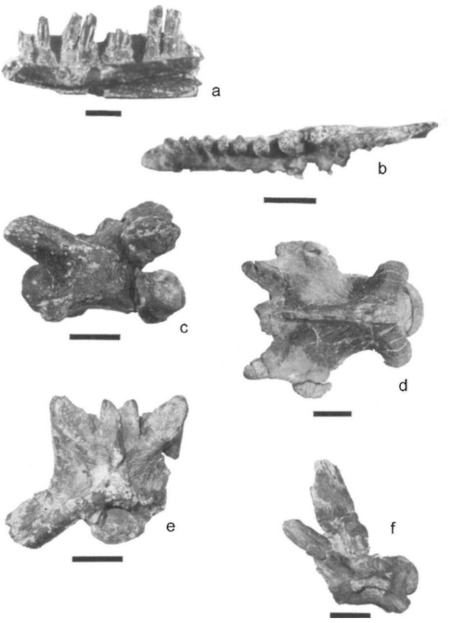
Gyíkok

Squamata OPPEL, 1911
Lacertilia OWEN, 1842
Lacertilia indet.

Az iharkúti lelőhelyről ismert egy nagy méretű (45 mm hosszú) jobb dentale töredék (MTM még nem katalogizált). Rajta a fogak töröttek, bázisuknál igen kis méretű a reszorpciós gödör hasonlóan egyes Scincomorphákhoz (ESTES 1983). A pleurodont fogak ritkásan állnak, keresztmetszetük kör alakú. A subdentális self a symphysisnél erősen felemelkedik, az elülső fogak szinte vízszintes helyzetben előre állnak.

Scincomorpha CAMP, 1923
Scincomorpha indet.

Az iharkúti gyíkmaradványok közt található egy 11 mm hosszú jobb dentale töredék (*4. ábra, a*; MTM még nem katalogizált). Három többé-kevésbé ép koronájú és három törött, pleurodont fog található rajta. A fogak basalis része kör keresztmetszetű és körülbelül magasságuk felével nyúlnak a dentale labiális támfala fölé. A fogak koronái labiolingválisan lapítottak. Egy posterior főtaréjt és egy nagyságrenddel kisebb (kb. tized akkora) anterior melléktaréjt viselnek. A taréjok hegyesek, élesek és aszimmetrikusak. Hasonló fogai vannak több recens, a Teiidae családba tartozó scincomorph gyíknak (*Ameiva*) (ESTES 1983, RAGE 1999). Ugyanilyen, ám jóval töredékesebb állkapocs maradványokat írtak le a késő-campani korú észak-spanyolországi Laño lelőhelyről (RAGE 1999). A hazai lelet esetében a lañói leletekhez hasonlóan a család szintű meghatározás nem lehetséges, de valószínűsíthető a Teiidae családba tartozás.



4. ábra. Gyíkmaradványok a felsőkréta Csehbányai Formációból, Iharkút, Bakony. a: Scincomorpha indet. jobb dentale töredék lingvális nézetben, b: *Bicuspidon* sp. jobb dentale occlusalis nézetben, c: Mosasauridae nyakcsigolya bal laterális nézetben, d: Mosasauridae hátcsigolya dorzális nézetben, e: Mosasauridae sacralis csigolya dorzális nézetben, f: Mosasauridae farokcsigolya bal laterális nézetben. Méretarány: a, b: 2 mm; c–f: 2 cm

Fig. 4 Squamates from the Late Cretaceous continental vertebrate locality, Iharkút, Bakony Mts. a: Scincomorpha indet. right dentary fragment in lingual view, b: Bicuspidon sp. right dentary in occlusal view, c: Mosasauridae cervical vertebra in left lateral view, d: Mosasauridae dorsal vertebra in dorsal view, e: Mosasauridae sacral vertebra in dorsal view, f: Mosasauridae caudal vertebra in left lateral view. Scale bar equals: a, b: 2 mm; c–f: 2 cm

Teiidae GRAY, 1827
Polyglyphanodontinae ESTES, 1983
Bicuspidon NYDAM et CIFELLI, 2002
Bicuspidon sp.

Hat darab többé-kevésbé töredékes azonos morfológiájú dentale (*4. ábra, b*; MTM nincs bekatalogizálva) a Scincomorphán belül egyértelműen a Teiidae családba sorolható a jellegzetes heterodont fogazat, a nagy méretű szubcirkuláris reszorpciós gödrök, és a fogak bázisánál látható erős cementberakódás alapján (ESTES 1983, RAGE 1999, NYDAM & CIFELLI 2002). A Teiidaeken belül a fogak morfológiája a Polyglyphanodontinae alcsaládra utal. A megőrződött két legelülső fog koronája egyszerű felépítésű, egy kúpot viselő monocuspid. Az utána következő fogak koronái két kúppal rendelkeznek, bicuspidok: egy nagyobb lingvális és egy valamivel kisebb labiális kúpot viselnek. A két kúpot egy V alakú gerinc köti össze. A két leghátsó fog koronáján a két kúp összeolvadt és a fogak az elülső fogakhoz hasonlóan monocuspidok. Az alcsaládon belül hasonló fogazata van a *Polyglyphanodon*nak és a *Paraglyphanodon*nak, ezek esetében azonban a bicuspid fogak kúpjait nem egy V alakú, hanem egy vízszintes gerinc köti össze, továbbá különösen a *Polyglyphanodon* esetében a fogak sokkal lapítottabbak anteroposterior irányban (ESTES 1983, NYDAM

& CIFELLI 2002). Sokkal nagyobb a hasonlóság a *Bicuspidon* genus két fajával: az Észak-Amerika albaijából és cenomanjából leírt *B. numerosus* NYDAM et CIFELLI, 2002 fajjal és a Hátszegi-medence (Erdély) maastrichtijéből ismert *B. hatzegiensis* FOLIE et CODREA, 2005 fajjal. A további vizsgálatok fogják eldönteni, hogy besorolható-e az eddig ismert két *Bicuspidon* faj valamelyikébe, vagy szükséges új fajként való leírása.

Pythonomorpha COPE, 1869
Mosasauridae GERVAIS, 1853
Mosasauridae incertae sedis

A területről előkerült gyíkmaradványok közt nagyságrendileg a leggyakoribbak a Mosasauridae fajoknak tulajdonítható izolált maradványok (*4. ábra, c–f*; MTM nincsenek bekatalogizálva). Több, mint 100 csigolya (a gerincoszlop szinte minden részéről), több koponya-, illetve alsó állkapocselem, izolált fogak, a függesztővek elemei és végtagcsontok is kerültek elő. Az ismert csontok, bár mind különálló csontelemek és nyilvánvalóan számos különböző méretű és életkorú egyedtől származnak, mégis egy fajként kezelhetők, több okból is. Egyrészt a legtöbb előkerült mosasaurida csontmaradvány olyan primitív és fejlett bélyegeket visel, melyek együttes megléte önmagában különlegessé teszi őket. Másrészt az előkerült összes csigolyán megtalálható egy háromszög alapú kiemelkedett terület a neurális csatorna fenekén, melyhez hasonló csak a *Tethysaurus nopcsai* BARDET et al. 2003 csigolyáin ismert. Az egyes csigolyákat sorba rendezve a csigolyák határozott tendenciákat mutatnak morfológiájukban, bármiféle kiugró eltérés nélkül, ami szintén egyetlen faj jelenlétére utal. Így a hasonló esetben alkalmazott gyakorlattal összhangban az összes Iharkútról előkerült mosasaurida maradványt egyetlen fajhoz tartozónak tekintjük.

A koponyaelemek közül ismert két premaxilla, egy jobb maxilla, két bal postorbitofrontále és két bal quadratum. A premaxillán a mosasauroidákra jellemzően két pár foghely található, ezek közül az elülsők azonban igen sekélyek, ami primitív bélyegnek tekinthető. A maxilla szintén lapos és mediális irányban dőlt. A maxilla megmaradt darabján 12 elkülönült alveolus található, az eredeti fogszám körülbelül 18 volt, amely a mosasauridák közt primitív állapotnak felel meg (DEBRAGA & CARROLL 1993). A maxilla és a premaxilla lapítottsága alapján megállapítható, hogy az iharkúti moszaszaurusznak viszonylag széles és lapos volt az arckoponyája. Az egyik, kisebb méretű postorbitofrontalén megtalálható a postorbitale és a postfrontale közti sutura, míg a nagyobbikon ez ontogenetikai különbségeknek köszönhetően nincs jelen. A mosasauroidákra jellemzően a quadratum kagylója fejlett és a proximalis condylus lekerekített, ezzel szemben a distalis condylus nyereg alakú, mely ősi tulajdonság (RUSSELL 1967, CARROLL & DEBRAGA 1992, DEBRAGA & CARROLL 1993). A quadratum feltűnően hasonlít a *Tethysaurus* ugyanazon csontjára. Az alsó állkapocs csontjai a coronoideum kivételével ismertek. A dentalében 20 elkülönült foghely található 2 lekopott, kúpos foggal, ez a fogszám a *Tethysaurus*éhoz hasonlóan primitív állapotnak mondható (BARDET et al. 2003). Ősi bélyeg, hogy a dentalében a foghelyek mediális támfala kb. fele olyan magas, mint a laterális, de fogak már a mosasauroidákra jellemző subthecodont módon rögzültek, szemben a *Tethysaurus*szal melynek, mint a legtöbb gyíknak, még pleurodont a fogazata (BARDET et al. 2003). A spleniale és az angulare közt a Pythono-

morphákra jellemző fejlett intramandibularis ízesülés megtalálható. Ennek a szerepe a vízi életmóddal áll kapcsolatban. A vízben jóval nehezebb darabokat tépni ki a prédából, hiszen nem lehet a zsákmányt a földhöz leszorítani. Az intramandibuláris ízesülés, az erősen kinetikus koponya és a szájpadlásfogak lehetővé teszik a száj igen nagyra nyitását és a minél nagyobb falat elnyelését (LEE et al. 1999). A spleniale dorsomediális nyúlványa közepesen, az Aigialosauridae fajaira és a *Tethysaurus*ra jellemző átmeneti mértékben fejlett (CARROLL & DEBRAGA 1992, BARDET et al. 2003). Az articulare retroarticularis nyúlványa a mosasauroidáknál megszokott kör formájú és mediálisan kiterjedt, az alsó állkapocs glenoidját fejlett módon a subanguláre és az articuláre közösen formálja (RUSSELL 1967, CARROLL & DEBRAGA 1992). Az izolált fogak kúposak, posterolingvális irányban hajlottak. A koronájuk apikális irányban barázdált, rajtuk egy erősebb anterior és egy gyengébb labiális carina található. A jobb megtartású fogaknak a mosasauridákra jellemző gyökerük is megőrződött. A fogak legjobban a moszaszauruszok közt primitívnek számító *Halisaurus* fogaira hasonlítanak (BARDET et al. 2005).

A csigolyák közt számos nyakcsigolya, nagy számú hátcsigolya, három keresztcsonti csigolya, egy pygalis csigolya és több farokcsigolya található. A nyakcsigolyák (*4. ábra, c*; MTM nincs bekatalogizálva) centruma dorzoventrális irányban lapított, condylusuk és cotylusuk ovális, hasonlóan a legtöbb gyíkhoz és a legprimitívebb mosasauridákhoz (HOFFSTETTER & GASC 1969, DEBRAGA & CARROLL 1993, CALDWELL & BELL 1995). A condylusok kiszélesedők, precondylaris szűkület figyelhető meg, amely bizonyos Varanoidea fajokra jellemző és a mosasauridák családjában csak primitív formáknál található meg (HOFFSTETTER & GASC 1969, CALDWELL & BELL 1995). A nyaki csigolyasorban a következő tendenciák figyelhetők meg posterior irányban haladva: a zygosphenék és zygantrumok (járulékos kapcsolódási szerkezetek) fejlettebbé válnak, de még nincs funkciójuk a csigolyák rögzítésének szempontjából, a synapophysisek anterior irányba tolódnak, a hypapophysisek mérete csökken és helyettük egy sagittalis gerinc jelenik meg a leghátsóként értelmezett nyakcsigolyákon.

Az elülső hátcsigolyák arányaikban rövidebbek és szélesebbek a nyakcsigolyáknál. A hátcsigolyák (*4. ábra, d*; MTM nincs bekatalogizálva) condylusai és cotylusai erősen lapítottak, kapcsolódási síkjuk ferdébb, a zygosphenek és zygantrumok nagy méretűek és szerepet játszanak a csigolyák kapcsolódásában. Posterior irányba haladva ezek a bélyegek még kifejezettebbé válnak. A hátcsigolyák condylusai kiszélesedők, a precondylaris szűkület fejlett. Ellentétben a *Tethysaurus*szal, a bakonyi mosasaurida esetében paracotylaris és parazygosphenalis foramenek nem találhatók (BARDET et al. 2003).

A gyíkok többségének két sacralis csigolyája van (HOFFSTETTER & GASC 1969), a mosasauridáknál a teljesen vízi életmóddal összhangban a medence és a gerinc közti kapcsolat megszűnik, a sacralis csigolyák (vagy legalább a 2.) a gerincoszlopban mögöttük elhelyezkedő pygalis csigolyákhoz válnak hasonlóvá (RUSSELL 1967, DEBRAGA & CARROLL 1993). Az iharkúti mosasaurida esetében, hasonlóan az Aigialosauridae fajokhoz, 1. és 2. sacralis csigolya is ismert, ami ősi bélyeg (DEBRAGA & CARROLL 1993). A 2. sacralis csigolyán (*4. ábra, c*; MTM nincs bekatalogizálva) találjuk a legfejlettebb zygospheneket és zygantrumokat. Ennek oka, hogy az állat farkát úszás közben oldalirányba mozgató izmok itt, a sacralis csigolyán tapadnak,

így itt van a legnagyobb szükség a járulékos ízesülési struktúrákra a gerincoszlop stabilizálásához (CARROLL 1988, M. CALDWELL szóbeli közlés).

A farokcsigolyák (*4. ábra, f*; MTM nincs bekatalogizálva) a *Tethysaurus*éhoz, illetve bizonyos, a Dolichosauridae családba tartozó Pythonomorphakéhoz hasonlóak (BELL et al. 1982, DAL SASSO & PINNA 1997, LEE & CALDWELL 2000, BARDET et al. 2003), megnyúlt hengeres centrummal rendelkeznek. A distalis farokcsigolyákon a postzygapophysisek kisebb méretűek és függőlegesebb az ízesülési síkjuk, ami a mosasauroidáknál a vízi életmóddal áll összefüggésben (CARROLL & DEBRAGA 1992). Ugyanez okból hasonló tendencia figyelhető meg a processus transversusok esetében, némelyik distalis farokcsigolyán a harántnyúlvány teljesen hiányzik.

A függesztőöv- és a végtagcsontok közül ismert egy jobb scapula, egy jobb humerus proximalis vége, két metacarpus, illetve két bal és egy jobb ilium. A scapula kiszélesedőbb, mint a szárazföldi életmódú gyíkok esetében, de nem félkör alakú, mint a fejlettebb moszaszauruszoknál (RUSSELL 1967, CALDWELL et al. 1995), fejlettségében a *Halisaurus*éra hasonlít (BARDET et al. 2005). A humerus a végtag uszonnyá módosulása miatt ellaposodott, a deltadudor a csont középső részére tolódott. A metacarpusok szintén ellaposodtak, a *Platecarpus* 1. illetve 5. metacarpusára emlékeztetnek (RUSSELL 1967, M. CALDWELL szóbeli közlés). Az iharkúti moszaszaurusz iliuma jól rekonstruálható a megőrződött három ilium alapján. Megállapítható, hogy a csont hasonlóan a szárazföldi ősökéhez, illetve az Aigialosauridaeékéhez és a *Tethysaurus*éhoz (DEBRAGA & CARROLL 1993, BARDET et al. 2003), hátrafelé irányult. A *Tethysaurus* azonos csontjával való hasonlóság szembeszökő. Ennek ellenére a végtagcsontok alapján egyértelmű, hogy az iharkúti moszaszauruszok uszonya volt, míg a primitívebb *Tethysaurus*nak még lábai voltak (BELL & POLCYN 2005, M. CALDWELL szóbeli közlés).

Az iharkúti moszaszaurusz igen primitív helyzetűnek tekinthető a Mosasauridae családon belül. Legközelebbi rokona a *Tethysaurus*, melyet az eddig ismert legprimitívebb mosasauridaként írtak le (BARDET et al. 2003).

A Mosasauroidea fajok pár szórványlelettől eltekintve (HOLMES et al. 1999) eddig kizárólag tengeri üledékekből voltak ismertek, és kizárólag tengeri csoportnak tartották őket (BELL & POLCYN 2005, M. CALDWELL szóbeli közlés). Az iharkúti moszaszaurusz maradványai olyan nagy számban kerültek elő a lelőhely agyagklasztos rétegéből, hogy megállapítható, hogy nagy számú különböző életkorú egyed élt a területen egy időpontban. Ennek az új genusnak az egyedei ténylegesen az édesvízben éltek, tengeri üledékből nem ismertek. Az iharkúti moszaszaurusz a csoport első édesvízhez alkalmazkodott képviselője, a terület folyóiban és tavaiban élt. Mivel a legnagyobb példányok több mint 6 méteres hosszt értek el, kétségkívül a csúcsragadozó szerepét töltötték be a vizekben.

Következtetések

Az iharkúti lelőhely szolgáltatja hazánk legjelentősebb mezozoos kontinentális gerinces faunáját. A területről előkerült halmaradványok egyrészt az édesvízi üledékből ismert pycnodontiform halak számát gyarapítják, másrészt a spanyolországi lañói lelőhelyhez hasonlóan a lepisosteida *Lepisosteus* és *Atractosteus*

együttes előfordulásáról szolgáltatnak bizonyítékot. A kétéltű albanerpetontida maradványok a család legtöbb európai kréta képviselőjéhez hasonlóan az *Albanerpeton* genusszal rokoníthatók és a csoport legidősebb késő-kréta előfordulását jelentik Európában. A fauna legtöbb maradvánnyal rendelkező elemei, a bothremydida teknősök a dél-franciaországi *Foxemys*szel rokoníthatók, de attól különböző új taxont képviselnek. A gyíkfauna részben a lañói, másrészt a hátszegi lelőhelyekkel mutat hasonlóságot, továbbá az iharkúti különleges moszaszaurusz révén első ízben nyújt információt a moszaszauridák édesvízi adaptációjáról.

Köszönetnyilvánítás

Lásd a Földtani Közlöny ugyanezen számában a „Ősi A. & Rabi M.: Egy késő-kréta kontinentális gerincesfauna a Bakonyból II: krokodilok, dinoszauruszok (Theropoda, Aves, Ornithischia), pteroszauruszok" című munkában.

Irodalom – References

Bardet, N., Pereda-Suberbiola, X., Iarochene, M., Bouya, B. & Amaghaz, M. 2005: A new species of Halisaurus from the Late Cretaceous phosphates of Morocco, and the phylogenetical relationships of the Halisaurinae (Squamata: Mosasauridae). – *Zoological Journal of the Linnean Society* **143**, 447–472.

Bardet, N., Pereda-Suberbiola, X. &. Jalil, N.-E 2003: A new mosasauroid (Squamata) from the Late Cretaceous (Turonian) of Morocco. – *Comptes Rendus Palevol* **2**, 607–616.

Bell, B. A., Murry, P. A. & Osten, L. W. 1982: Coniasaurus Owen, 1850 from North America. – *Journal of Paleontology* **56/2**, 520–524.

Bell, G. L. Jr. & Polcyn, M. J. 2005: Dallasaurus turneri, a new primitive mosasauroid from the Middle Turonian of Texas and comments on the phylogeny of Mosasauridae (Squamata). – *Proceedings of the First Mosasaur Meeting, Netherlands Journal of Geosciences* **84**, 177–194.

Bohn P. 1966: A sümegi kréta korú teknőslelet. – *Földtani Közlöny* **96**, 111–118.

Caldwell, M. W. & Bell, G. L. Jr. 1995: Halisaurus sp. (Mosasauridae) from the Upper Cretaceous (?Santonian) of East-Central Peru, and the taxonomic utility of mosasaur cervical vertebrae. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **15/3**, 532–544.

Carroll, R. L. 1988: Vertebrate paleontology and evolution. – W. H. Freeman and Company, New York, 228–234.

Carroll, R. L. & Debraga, M. 1992: Aigialosaurs: Mid-Cretaceous varanoid lizards. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **12/1**, 66–86.

Cavin, L. 1999: Osteichthyes from the Upper Cretaceous of Laño (Iberian Peninsula). – *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Alava* **14**, 105–110.

Dal Sasso, C. & Pinna, G. 1997: Aphanizocnemus libanensis n. gen. n. sp., a new dolichosaur (Reptilia, Varanoidea) from the Upper Cretaceous of Lebanon. – *Paleontologia Lombarda della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano, nuova serie* **7**, 3–31.

DeBraga, M. & Carroll, R. L. 1993: The origin of mosasaurs as a model of macroevolutionary patterns and processes. – *Evolutionary Biology* **27**, 245–322.

Estes, R. 1983. Sauria terrestria, Amphisbaenia. Encyclopedia of paleoherpetology. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart and New York. Part **10A**, 1–249.

Folie, A. & Codrea, V. 2005: New lissamphibians and squamates from the Maastrichtian of Haţeg Basin, Romania. – *Acta Palaeontologica Polonica* **50/1**, 57–71.

Gaffney, E. S. & Meylan, P. A. 1988: A phylogeny of turtles. – In: Benton, M. J. (ed.): The phylogeny and classification of tetrapods.– Clarendon Press, Oxford, 157–219.

Gellai M., Knauer J., Tóth K. & Szantner F. 1985: Az iharkúti bauxitterület rétegtani viszonyai. – *Földtani Közlöny* **115**, 23–44.

GRIGORESCU, D., VENCZEL M., CSIKI Z., & LIMBEREA, R. 1999: New latest Cretaceous microvertebrate fossil assemblages from the Haţeg Basin (Romania). – *Geologie en Mijnbouw* **78**, 301–314.

HAAS, J. 2001: Alpine evolutionary cycle. – In: HAAS, J. (ed.): Geology of Hungary, Eötvös University Press, p. 75.

HAAS J., & JOCHA-EDELÉNYI E. 1979: A dunántúli-középhegységi felsőkréta üledékciklus ősföldrajzi elemzése. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az* **1977**. *évről*, 217–223.

HAAS J., JOCHA-EDELÉNYI E. & CSÁSZÁR G. 1977: Mezozóos formációk vizsgálata a Dunántúli-középhegységben. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az* **1975**. *évről*, 259–272.

HOFFSTETTER, R. & GASC, J. 1969: Vertebrae and ribs of modern reptiles. – In: GANS, C. (ed.): Biology of the Reptilia 1 (Morphology A), 201–310.

HOLMES, R., CALDWELL, M. W. & CUMBAA, S. L. 1999: A new specimen of Plioplatecarpus (Mosasauridae) from the Lower Maastrichtian of Alberta: comments on allometry, functional morphology, and paleoecology. – *Canadian Journal of Earth Sciences* **36**, 363–369.

JAEKEL, O. 1911: Placochelys placodonta aus der Obertrias des Bakony. Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees. – *Palaeontologie der Umgebung des Balatonsees* **3**, 1–90.

JOCHA-EDELÉNYI E. 1988: History of evolution of the Upper Cretaceous Basin in the Bakony Mts at the time of the terrestrial Csehbánya Formation. – *Acta Geologica Hungarica* **31/1–2**, 19–31.

JOCHA-EDELÉNYI E. & CSÁSZÁR G. 1997: Csehbányai Formáció. – In: CSÁSZÁR G. (szerk.): Magyarország litosztratigráfiai alapegységei, Budapest, 83–84.

KAMMERER, C. F., GRANDE, L. & WESTNEAT, M. W. in press: Comparative and developmental functional morphology of the jaws of living and fossil gars (Actinopterygii: Lepisosteidae). – *Journal of Morphology*.

KNAUER, J. & SIEGL FARKAS, Á. 1992: Palynostratigraphic position of the Senonian beds overlying the Upper Cretaceous bauxite formations of the Bakony Mts. – *Annual Report of the Hungarian Geological Institute*, **1990**, 463– 471.

KRETZOI M. 1951: Saurius-fog a bakonyi bauxitképződményből. – *Földtani Közlöny* **81**, p. 333.

LEE, M. S. Y. & CALDWELL, M. W. 2000: Adriosaurus and the affinities of mosasaurs, dolichosaurs, and snakes. – *Journal of Paleontology* **74/5**, 915–937.

LEE, M. S. Y., BELL, G. L. JR. & CALDWELL, M. W. 1999: The origin of snake feeding. – *Nature* **400**, 655–659.

MEYLAN, P. A. 1996: Skeletal morphology and relationships of the Early Cretaceous side-necked turtle, Araripemys barretoi (Testudines: Pelomedusoides: Araripemydidae), from the Santana Formation of Brazil. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **16/1**, 20–33.

MINDSZENTY A., KNAUER J. & SZANTNER F. 1984: Az iharkúti bauxit üledékföldtani jellegei és felhalmozódási körülményei. – *Földtani Közlöny* **114**, 19–48.

NYDAM, R. L. & CIFELLI, R. L. 2002: A new teiid lizard from the Cedar Mountain Formation (Albian–Cenomanian boundary) of Utah. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **22/2**, 276–285.

ŐSI, A. 2004: The first dinosaur remains from the Upper Cretaceous of Hungary (Csehbánya Formation, Bakony Mts). – *Geobios* **37**, 749–753.

ŐSI A., WEISHAMPEL, D. B. & JIANU, C. M. 2003: Dinosaurs from the Upper Cretaceous of Hungary. – Advances in Vertebrate Paleontology, Hen to Pantha, Bucharest 117–120.

POYATO-ARIZA, F. J., TALBOT, M. R., FREGENAL-MARTÍNEZ, M. A., MELÉNDEZ, N. & WENZ, S. 1998: First isotopic and multidisciplinary evidence for nonmarine coelacanths and pycnodontiform fishes: palaeoenvironmental implications. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **144**, 65–84.

RAGE, J.-C. 1999: Squamates (Reptilia) from the Upper Cretaceous of Laño (Basque Country, Spain). – *Estudios Del Museo De Ciencias Naturales De Alava* **14** (Número especial 1), 121–133.

RÁLISCHNÉ FELGENHAUER E. & TÖRÖK Á. 1993: Mészhegyi Formáció. – Haas J. (szerk.): Magyarország litosztratigráfiai alapegységei, Triász kötet 255–257.

RUSSELL, D. A. 1967: Systematics and morphology of American mosasaurs. – *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History* **23**, 1–240.

TONG, H., GAFFNEY, E. S. & BUFFETAUT, E. 1998: Foxemys, a new side-necked turtle (Bothremydidae: Pelomedusoides) from the Late Cretaceous of France. – *American Museum Novitates* **3251**, 1–19.

Kézirat beérkezett: 2006. 01. 25.

Földtani Közlöny 136/4, 503–526. (2006) Budapest

Késő-kréta kontinentális gerinces fauna a Bakonyból II: krokodilok, dinoszauruszok (Theropoda, Aves, Ornithischia), pteroszauruszok

The Late Cretaceous continental vertebrate fauna from the Bakony Mountains II: crocodiles, dinosaurs (Theropoda, Aves, Ornithischia), pterosaurs

ŐSI Attila[1] – RABI Márton[1]

(6 ábra)

Tárgyszavak: Archosauria, Bakony hegység, késő-kréta, Csehbányai Formáció
Keywords: archosaurs, Bakony Mts, Upper Cretaceous, Csehbánya Formation

Abstract

In the year 2000 the first Mesozoic continental vertebrate fauna was discovered in Hungary and since that time, during several field expeditions thousands of bones have been collected and prepared by the field crew of the Hungarian Dinosaur Expedition. The locality where these bones were found is an open-pit bauxite mine (Németbánya–II) near the villages Iharkút and Németbánya. The bones were found in the Upper Cretaceous (Santonian) Csehbánya Formation. Two bone-yielding beds are present the locality. One of them is a basal breccia containing exclusively isolated bones. The second is a greyish-brownish sandstone and siltstone covering the basal breccia; this contained four partial skeletons of an armoured dinosaur.

The archosaurian fauna (i. e. crocodiles, non-avian dinosaurs, birds and pterosaurs) of the locality is well-preserved and one of the richest among the Late Cretaceous continental faunas of Europe. Several new taxa, such as a primitive eusuchian, as well as new genera of the families of Alligatoroidea, Nodosauridae, Rhabdodontidae, Azhdarchidae make up the fauna. After the French localities the Hungarian is the next richest in bones of the primitive avian group, Enantiornithes from the Late Cretaceous of Europe.

In taphonomical aspects bones from the basal breccia are mostly crushed and eroded; however, the bones of the armoured dinosaur skeletons, are well-preserved, albeit they bear a slight compressions due to overlying deposits.

Three aspects of the lately discovered Late Cretaceous, Hungarian dinosaur fauna support its unique status among other European Late Cretaceous faunas. First, its Santonian age differs from almost all other European localities. Second, 90% of the dinosaur remains are ankylosaur bones. Third, in addition to the above-mentioned, several new vertebrate taxa have also been discovered.

From a palaeobiogeographical aspect the Iharkút fauna has Euramerican rather than African affinities. Several taxa (e.g. Eusuchia indet., *Hungarosaurus*) have an ancient plesiomorphic character suggesting that the Iharkút area, similar to Nopcsa's „Hátszeg Island", was partially a refugium in the Mediterranean archipelago during the Late Cretaceous.

Összefoglalás

Több éves kutatások eredményeként 2000-ben előkerült az első, mezozoos, kontinentális, gerinces fauna a mai Magyarország területéről. Lelőhelye az egykori Iharkút település határában, a Németbánya–II-es lencse feletti külfejtés területén található, ahol a csontok a felső-kréta (santoni) Csehbányai Formációból kerülnek elő. A csontok 90%-a izolált elem, mely egy bázisbreccsából került elő, továbbá ismert még négy részleges páncélos dinoszaurusz csontváz, melyek a bázisbreccsa felett elhelyezkedő, barnásszürke finom homok – aleurolit rétegekből származnak.

[1]ELTE, Őslénytani Tanszék, H–1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c

Az eddig begyűjtött, több ezer darabból álló felső-kréta leletegyüttes Archosauria elemei (krokodilok, dinoszauruszok, madarak, pteroszauruszok) páratlan jelentőségűek és európai viszonylatban az iharkúti az egyik legjobban reprezentált fauna számos új taxonnal. Egy új, primitív Eusuchia krokodil mellett, az Európa többi felső-kréta lelőhelyeiről is ismert Alligatoroidea, Nodosauridae, Rhabdodontidae, Azhdarchidae családok is új genusokkal képviseltetik magukat. A dél-franciaországi felső-kréta lelőhelyek mellett az iharkúti terület volt az első, ahonnan a primitív Enantiornithesek közé tartozó csontok kerültek elő.

A leletekre tafonómiai szempontból jellemző, hogy a bázisbreccsából előkerült izolált csontok sok esetben töröttek, kopottak, míg a barnásszürke aleurolitból ismert csontvázak elemei csak ritkán töröttek, általában a rétegterhelés nyomait viselik.

Az iharkúti gerinces fauna, összehasonlítva más felső-kréta európai gerinces faunákkal, számos különleges tulajdonsággal rendelkezik. A fauna santoni korú, a páncélos dinoszaurusz csontok rendkívül gyakoriak a területen, továbbá számos új taxon is megjelenik a faunában.

A fauna leginkább észak-amerikai (euramerikai) rokonságot mutat. Több taxon (Eusuchia indet., *Hungarosaurus*) igen primitív tulajdonságokkal rendelkezik, mely arra utal, hogy az iharkúti terület, hasonlóan a Hátszegi-medencéhez, részben egy szigetfaunát őrző refúgium lehetett a késő-kréta Mediterraneumban.

Bevezetés

A nemrégiben dokumentált, iharkúti felső-kréta kontinentális gerinces fauna értékes elemi közül a teknősök mellett talán a krokodilok és a páncélos dinoszauruszok (Ankylosauria) maradványai a leggyakoribbak és legjobb megtartásúak. A krokodilokat ezidáig biztosan három taxon több száz maradványa (köztük számos koponya) képviseli. A páncélos dinoszauruszok pedig azért olyan jelentősek, mert számos izolált csontjuk mellett négy részleges csontvázukra is rábukkantunk. Utóbbiak közül a legteljesebb mintegy 450 csontból áll és kb. 60%-ban reprezentálja a teljes csonvázat. Csontjai egy kb. 45 m^2-es területen feküdtek, a begyűjtési munkálatok pedig több szezon (2001 őszétől 2003 tavaszáig) alatt összesen mintegy 2 hónapot vettek igénybe (Ősi 2003; Ősi 2005a). Ezek a munkálatok azért tartottak ilyen sokáig, mert a csontvázat tartalmazó réteg felett kezdetben több méter vastag fedőkőzet volt, melyet a bánya a Németbánya–II-es lencse letermelésére indított munkáltok során csak fokozatosan tudott letakarítani.

Az elmúlt öt év kutatásainak eredményeként elmondható, hogy az Iharkútról (*1. ábra*) előkerült gazdag felső-kréta gerinces fauna rendkívül fontos a hasonló korú gerinces faunák között, mert mindamellett, hogy új, átmeneti formákkal segít pontosítani az egyes csoportok rendszertani kapcsolatait, santoni korú, és így rengeteg információt ad a késő-kréta egy igen gyengén reprezentált periódusának kontinentális élővilágáról.

1. ábra. A magyarországi felső-kréta gerinces lelőhely földrajzi elhelyezkedése

Fig. 1 Location of the Hungarian Upper Cretaceous continetal vertebrate

Ebben az összefoglaló dolgozatban az iharkúti lelőhelyről begyűjtött Archosauriak közé tartozó krokodil, dinoszaurusz, pteroszaurusz és madármaradványok kerülnek röviden bemutatásra.

Rendszertani rész

Archosauria COPE, 1869
Crocodylomorpha WALKER, 1970
Crocodyliformes HAY, 1930
Ziphosuchia ORTEGA, GASPARINI, BUSCALIONI et CALVO, 2000
Doratodon SEELEY, 1881
Doratodon sp.

A *Doratodon* nemzetség izolált, jellegzetes ziphodont fogak alapján mutatható ki a lelőhelyről (2. *ábra, a, b* – RABI 2005a). A fogak labiolingualisan lapítottak, recézett mesialis és distalis carinával rendelkeznek, a zománcon nincsenek barázdák, az apex hegyes, a korona alja szív alakú és a labiális felszín mindig domborúbb, mint a

2. *ábra.* Krokodilmaradványok a felső-kréta Csehbányai Formációból (Iharkút, Bakony). a, b: *Doratodon* sp. fogak; c, d: Alligatoroidea indet. bal alsó állkapocs töredék medialis (c) és occlusalis (d) nézetben; e, f: Eusuchia indet. koponya töredék dorzális (e) és ventrális (f) nézetben. Méretarány: a, b: 5 mm; c–f: 2 cm

Fig. 2 Crocodile remains from the Upper Cretaceous Csehbánya Formation (Iharkút, Bakony). a, b: Doratodon sp. teeth; c, d: Alligatoroidea indet. left lower jaw fragment in medial (c) and occlusal (d) views; e, f: Eusuchia indet. fragmentary skull in dorsal (e) and ventral (f) views. Scale bar equals: a, b: 5 mm; c–f: 2 cm

lingualis. Ezek a bélyegek az európai késő-kréta ziphosuchia krokodil nemzetség, a *Doratodon* jellemzői (BUFFETAUT 1979; COMPANY et al. 2005). Három morfotípus különíthető el, melyek az állkapcsokban elfoglalt helyüktől függően különböznek. Az egyik típus hegye posterior irányban és kissé lingualisan hajlott, a másik csak posterior irányban hajlott és alacsonyabb koronájú, a harmadik egyenes, még alacsonyabb és háromszög alakú. A spanyolországi *Doratodon ibericus* COMPANY, PEREDA-SUBERBIOLA, RUIZ-OMEÒACA et BUSCALIONI, 2005 alsó állkapcsában megőrződött fogak alapján rekonstruálni lehet az iharkúti *Doratodon* fogsorát: a posterolingualisan behajló fogak anterior helyzetűek, a kiegyenesedett fogak pedig a fogsor hátsó részén helyezkedtek el.

A *Doratodon* ezzel a modern csoportoknál szokatlan, lapított és recés fogazat típussal minden bizonnyal alapvetően eltérő táplálkozásmódot folytatott és némileg a fogyasztott táplálékot tekintve is különbözött a mai alligátoroktól és krokodiloktól (RABI 2005b). A finoman recézett fogak lehetővé tették a préda hatékony felszeletelését, ami a recens családoknál nem fordul elő. A feltehetően elülső helyzetű kampós fogak megragadó funkciót tölthettek be, míg a vélhetően hátsó helyzetű, egyenes, háromszög alakúak a feldarabolásban jutottak szerephez. A koponya felépítése, mérete és a fogazat alapján a *Doratodon* életmódja bizonyos fokig a recens *Varanus salvator* LAURENTI (1768) fajhoz lehetett hasonló. A délkelet-ázsiai *V. salvator* egy félig vízi életmódot folytató ragadozó, mely főleg kis emlősökkel, madarakkal, gyíkokkal, kétéltűekkel és halakkal táplálkozik, de recés fogazata alkalmassá teszi dögevésre is (SANDER 1999, SHINE et al. 1996). Így a *Doratodon* minden bizonnyal más ökológiai szerepet töltött be az egykori területen, mint az iharkúti lelőhelyről ismert heterodont Eusuchia és az alligátorféle. Hasonlóan más ziphosuchiakhoz, melyeknél szárazföldi életmódot feltételeznek a *Doratodon* valószínűleg nem kifejezetten akvatikus hüllő volt. Erre utal a dorzo-ventrálisan megnyúlt, emlősszerű koponya- és állkapocs-felépítés, mely a késő-triász és jura, hosszú végtagú, szárazföldi Sphenosuchiákra jellemző. A *Doratodon* végtagcsontjai nem ismertek.

A *Doratodon* nemzetségnek eddig két faját írták le, melyek elterjedése csak Európa késő-krétájára korlátozódik. A *Doratodon carcharidens* BUNZEL (1871) Ausztria campani korú Gosaui Formációcsoport rétegeiből, Muthmannsdorf közelében került elő és egy majdnem teljes alsó állkapocs alapján lett leírva. A *Doratodon ibericus* egy töredékes dentale alapján ismert a spanyolországi Valencia környéki campani üledékekből. *Doratodon* fogak kerültek elő még a romániai Hátszegi-medencéből (maastrichti) és Olaszországból (GRIGORESCU et al. 1999, M. DELFINO szóbeli közlés). Az iharkúti *Doratodon* az egyetlen ismert santoni képviselője a nemzetségnek. A fogakat fajszinten kellő biztonsággal nem lehet meghatározni, ezért az iharkúti *Doratodon* itt, mint *Doratodon* sp. szerepel. Az iharkúti lelőhelyről származó leletek közül egy töredékes maxilla *Doratodon*ként azonosítható, melyekben a fogak nem őrződtek meg. A maxillán öt elnyújtott, keskeny alveolus látható, amely jellemző az ausztriai *Doratodon carcharidensre*. A *Doratodon ibericus* maxillája nem ismert. Az iharkúti maxilla alveolusaitól medialisan kis mélyedések futnak végig a csont peremén. A mélyedésekben egy-egy apró foramen látható (feltehetően ér- és ideg be- és kilépési helyek). Néhány, különösen vékony krokodil koponyaelem (frontale, squamosum) nem azonosítható sem az iharkúti lelőhelyről előkerült primitív Eusuchia, sem az Alligatoroidea krokodil koponyacsontjaival. *Doratodon* kopo-

nyaelemek nem ismertek más lelőhelyekről, kivéve egyetlen maxilla töredéket az ausztriai lelőhelyről. Így az iharkúti koponyacsontok azonosítása a *Doratodon* nemzetséggel a csontok dorzális mintázata és a különösen lapos, vékony felépítésük alapján csak feltételes.

Neosuchia Benton et Clark, 1988
Eusuchia Huxley, 1875
Eusuchia indet.

Az iharkúti területen legjobban reprezentált krokodil anyag egy Eusuchia krokodiltól származik (*2. ábra, e, f*), mely az előzetes vizsgálatok alapján igen primitív az Eusuchiák körében, bár rendelkezik néhány igen különleges, fejlett tulajdonsággal (Ősi 2005b). Ilyen többek között a zárt felső halántékablakok megléte. Két teljes koponya (MTM Gyn/440, MTM Gyn/441), három töredékes koponya (MTM Gyn/442; MTM Gyn/443; MTM Gyn/444), hat koponyatöredék (MTM Gyn/445, MTM Gyn/467–MTM Gyn/470), 10 töredékes alsó állkapocs (MTM Gyn/446, MTM Gyn/461–MTM Gyn/466) és közel száz izolált fog képviseli. Ismertek postcranialis elemek is a területről, ezek azonban mind izolált leletek, így nem dönthető el egyértelműen, hogy melyik Eusuchia krokodilhoz tartoznak (l. a következő fejezetet).

Ennek a krokodilnak a legérdekesebb tulajdonsága a heterodont fogazat. A maxillában a 18 alveolusban ülő fogak közül az utolsó kilencet ismerjük, melyek mind méretükben, mind felépítésükben eltérnek egymástól. Az alsó állkapocs fogazata nem ismert. A fogak eltérően a „hagyományos", kúpos krokodilfogaktól laposabbak, szélesebbek és számos kúpot viselnek, melyek sorokba rendeződnek. A kúpok felszíne barázdált, mely még tagoltabbá teszi a szerkezetüket. Hátrafelé haladva a fogsorban a fogak mérete növekszik. Az utolsó előtti alveolusban ülő fog a legnagyobb, területét tekintve 8–10-szer nagyobb, mint az anterior helyzetűek. A fogak occlusalis felszíne általában kopott, sok esetben a kúpokkal erősen tagolt zománcfelszín teljesen hiányzik. Ez arra utal, hogy az állat eltérően a legtöbb krokodiltól, fogazatával összetörte és feldarabolta, felőrölte táplálékát. Ez a krokodilok körében rendkívül bonyolultnak számító fogazat összefügg egy egészen speciális táplálkozással is. Feltételezzük, hogy ez a különös Eusuchia nem húsevő, hanem inkább mindenevő, esetleg növényevő, gyümölcsevő életmódot folytatott.

Mind a koponya, mind az alsó állkapocs rendelkezik számos speciális módosulással, mely összefügg a heterodont fogazattal. Ilyen pl. a rendkívül rövid quadratum, a robusztus ectopterygoid, vagy a maxilla szokatlanul hosszú posterior nyúlványa. Ezek a tulajdonságok mind azt a célt szolgálták, hogy a koponya erősebb, masszívabb, és a táplálék feldolgozása (aprítás, őrlés) hatékonyabb legyen.

Ez az Eusuchia krokodil azért is különleges, mert ennyire különböző fogtípusok egyik Eusuchia krokodil állkapcsában sem ismertek, továbbá egyáltalán nem ismert sok kúpot viselő „emlősszerű" fogazat az Eusuchiák körében.

Annak ellenére, hogy sok kúpot viselő, „emlősszerű" fogazattal rendelkező krokodilok igen ritkán fordulnak elő a fosszilis leletek közt, a krokodilalakúak (Crocodyliformes) minden főbb csoportja (Protosuchia, Notosuchia, Neosuchia) tartalmaz ilyen formákat. Ez egyben azt is jelenti, hogy a krokodilok esetében a speciális heterodont fogazat kialakulása konvergencia.

A Protosuchiák körében az *Edentosuchus* (YOUNG 1973, POL et al. 2004), továbbá egy „Kayenta" krokodilnak nevezett, Arizonából ismert protosuchida (J. CLARK szóbeli közlés) rendelkezik „emlősszerű" fogazattal. Bár rendszertanilag ezek a krokodilok állnak a legtávolabb a magyar Eusuchiától, mégis a Kayenta krokodil sok kúpot viselő, őrlőszerű fogai hasonlítanak leginkább a magyar leletekhez.

A Notosuchiák között több taxon rendelkezik sok kúpot viselő heterodont fogazattal, ezek a fogak azonban erősen különböznek a magyar Eusuchia fogaitól. A Közép-Afrikából ismert *Malawisuchus* (CLARK et al. 1989, GOMANI 1997) és a Kínából ismert *Chimaerasuchus* (WU et al. 1995, WU & SUES 1996) egyik közös bélyege, hogy az alsó állkapocs proal (nyitás közben hátra, zárás közben előre) mozgásra képes. Az őrlőszerű fogakon a kúpok ennek megfelelően anteroposterior sorokba rendeződnek. A magyar krokodilnál viszont a hátsó, őrlőfogakon a kúpsorok radiálisak, illetve keresztirányúak.

Minden heterodont krokodilra, így a magyar leletre is jellemző, hogy a kifejlett példányok is kisméretűek. A koponya általában nem haladja meg a 15–20 cm-es hosszt, a becsült testhossz nem nagyobb 1,5 méternél. Míg a magyar Eusuchia koponyája 11 cm, becsült testhossza pedig 80–90 cm, addig a spanyolországi alsókrétából ismert *Unasuchus* (BRINKMANN 1992) koponyája kb. 5 cm, becsült testhossza 50 cm. Ez a kis méret valószínűleg összefügg ezeknek az állatoknak az életmódjával és az adott ökológiai fülkében betöltött helyükkel. A Madagaszkár felső-kréta rétegeiből ismert notosuchida *Simosuchus* labiolingválisan lapított fogakkal rendelkezik, melyek egy sorban viselnek számos kúpot. Ezek a fogak felépítésükben nagyon hasonlítanak az Ankylosauriák csipkézett fogaihoz. Ezenkívül a *Simosuchus* koponyája számos olyan tulajdonsággal rendelkezik, mely az Ankylosauriáknál is megjelenik. Ankylosauriák azonban mindezidáig nem ismertek a területről. BUCKLEY et al. (2000) ebből arra következtet, hogy Madagaszkáron abban a késő-kréta ökoszisztémában a speciális heterodont *Simosuchus* krokodilok töltötték be a máshol Ankylosauriák által uralt pozíciókat.

A magyarországi heterodont krokodil őrlőfogai leginkább egy ősi emlőscsoport, a Multituberculaták molárisaihoz hasonlítanak. A Multituberculaták pedig az egyik „leggyakrabban" megjelenő emlőscsoport a késő-kréta kontinentális faunákban, bár Európából egyedül csak a Hátszegi-medence (Erdély) lelőhelyeiről ismertek (GRIGORESCU & HAHN 1987, RADULESCU & SAMSON 1986). Nem kizárt, hogy a magyarországi faunában a kistermetű heterodont Eusuchiák töltötték be a magevő, növényevő Multituberculaták szerepét. Egy ökoszisztémában való új pozíció betöltése mellett egy új táplálékforrás megjelenése, (pl. újfajta gyümölcsöt hozó zárvatermők feltűnése a területen) is kiválthatja egy ilyen heterodont krokodil kialakulását.

Alligatoroidea GRAY, 1844
Alligatoroidea indet.

Az Alligatoroidea csoport maradványai gyakoriak a lelőhelyen, de ezidáig összefüggő, jó megtartású leletek nem kerültek elő. Alligatoroidea maradványként azonosítható több izolált koponyaelem, állkapocstöredék (*2c, d ábra*) és nagyszámú különálló fog (RABI 2005a). A leletek feltételezhetően mind egyetlen taxonhoz tartoznak, mivel egyes állkapocs-töredékekből több példányt is ismerünk, amelyek

legfontosabb bélyegeikben megegyeznek. A gyakran előforduló fogak alapján sem lehetséges egynél több Alligatoroidea taxont elkülöníteni. Az iharkúti Alligatoroidea-t leginkább alsó állkapocsmaradványaiból ismerjük, így a családon belüli pontosabb rendszertani helyzetét nem tudjuk megállapítani. Az Alligatoroidea csoport jellemző anatómiai bélyegei az alsó állkapocs egyes részein is megtalálhatóak: az articularén a foramen aërum laterálisan eltolódott, a Musculus pterygoideus posterior tapadási helye az angulare laterális felszínére terjed ki, a symphysis jellegzetesen U alakú, a dentale dorzális felszíne sinusos lefutású (Brochu 1999; Clark, 1994). Az iharkúti Alligatoroidea-t összehasonlítva a csoport késő-kréta, paleocén, eocén képviselőjével, az előzetes vizsgálatok alapján új taxonnak tekinthetjük. A határozás során különös figyelmet fordítottunk az ismert felső-kréta európai és észak-amerikai Alligatoroidea taxonokra (*Musturzabalsuchus buffetauti* Buscalioni, Ortega et Vasse 1997; *Acynodon iberoccitanus* Buscalioni, Ortega et Vasse 1997; „Gosau Alligatoridae"; *Leidyosuchus canadensis* Lambe, 1907; *Deinosuchus rugosus* Emmons, 1858; *Brachychampsa montana* Gilmore, 1911; *B. sealyi* Williamson, 1996; *Stangerochampsa mccabei* Wu, Brinkmann et Russell 1996). A bakonyi Alligatoroidea különbözik a vizsgált taxonoktól, mert a dentale határozottan behajlik a 7. és a 8. fog között elhelyezkedő diastemától posterior irányban, széles medialis perem van a dentalen, az oldalsó halántékablak elnyújtott, továbbá a 3. és 4. alveolusok szeparáltak az alsó állkapocsban. A bakonyi Alligatoroidea pontos rendszertani helyzete egyelőre ismeretlen, jelen leletanyag alapján kladisztikus vizsgálatot nem lehet végezni. A meglévő kevés diagnosztikus bélyeg nem ad tájékoztatást arról, hogy a bakonyi Alligatoroidea melyik fejlődési ággal állt közeli rokonságban. A szeparált 3. és 4. mandibularis alveolus egy olyan autopomorf karakter, mely jelzi, hogy a bakonyi Alligatoroidea fejlettebb leszármazási ághoz tartozott, mint a legősibbnek tartott *Leidyosuchus canadensis* által képviselt csoport (Rabi 2006a, b).

Az Alligatoroidea főcsalád az ősmaradvány-leletek alapján a késő-krétától követhető nyomon. Európából már számos lelőhelyről leírtak Alligatoroidea maradványokat a felső-krétából és széleskörűen elterjedtek voltak az európai késő-kréta folyóvízi, ártéri környezetekben (Buscalioni et al. 1999, Buscalioni & Ortega 2002, Buffetaut 1979, Martin & Buffetaut 2005). Buscalioni et al. (1999) szerint észak-amerikai eredetűek, és Európába a táguló Észak-Atlanti-óceán felől érkeztek. A bakonyi lelet némiképp megkérdőjelezi ezt a hipotézist. A Csehbányai Formáció korát palynológiai vizsgálatok alapján santonira teszik (Knauer & Siegl-Farkas 1992), Mártonné (2005) a lelőhelyen végzett paleomágneses vizsgálatai megerősítették a csontartalmú réteg santoni korát. Az eddig leírt legkorábbi Alligatoroidea az alsó-campani *Deinosuchus rugosus* Texasból és Alabamából (Schwimmer 2002). A *D. rugosus* az egyik legősibb, fejletlen Alligatoroidea, a *Leidyosuchus canadensis* közeli rokona (Brochu 1999). Európában eddigi ismereteink szerint a késő-campani korú spanyolországi *Musturzabalsuchus* és a Spanyolországból és Franciaországból is leírt *Acynodon* számított a csoport legkorábbi előfordulásának (Buscalioni et al. 1999).

Ahhoz, hogy megtudjuk a bakonyi alligátor paleobiogeográfiai jelentőségét ismernünk kell, hogy a főcsaládon belül melyik két nagy fejlődési ágba sorolható, ehhez figyelembe kell venni a leletek hiányosságából adódó korlátokat. Alapvetően két csoport különíthető el: a megnyúlt, hegyesedő koponyájú, ránézésre krokodilra emlékeztető ősi formák (*Leidyosuchus canadensis* + *Deinosuchus* + *Diplocynodontinae*)

és a rövid koponyájú formák, melyek rostrumának anterior vége tompa, U alakú (pl.: *Brachychampsa, Stangerochampsa, Acynodon*). A bakonyi alligátor alsó állkapcsainak morfológiája arra utal, hogy közelebbi rokonságban állt a származtatott úgynevezett „tompa-orrú" alligátorokkal (minden Alligatoroidea ami fejlettebb, mint a *Leidyosuchus canadensis* + *Deinosuchus* + *Diplocynodontinae*). Ilyen bélyegek a rövid dentale, az U-alakú symhysis és a szeparált 3. és 4. alveolus, mely karakterek csak a fejlettebb fejlődési ágakra jellemzőek. Vizsgálataink szerint tehát a bakonyi alligátor az Alligatoroidea főcsalád eddig ismert legkorábbi előfordulása, viszont feltehetően egy származtatott forma. Ezért a bakonyi leltek arra utalnak, hogy az Alligatoroidea-k nem Észak-Amerikában alakultak ki. Az alligátorok korai evolúciója nehezen rekonstruálható, a csoport leszármazása ismeretlen. Az észak-amerikai santoniból vagy annál idősebb késő-krétából előkerült krokodil maradványok mind Neosuchiák: *Woodbinesuchus, Gilchristosuchus* és *Terminonaris* (BUSCALIONI et al. 2003). Európából a santoninál idősebb Eusuchia krokodilt csak a barremiből ismerünk: *Hylaeochampsa* (CLARK & NORELL 1992), mely az Eusuchiák legkorábbi és egyik legősibb képviselője: Ázsia, Afrika és Dél-Amerika felső-krétájából nincsenek olyan meggyőző leletek, amelyek Eusuchiák lehetnének. Ausztrália albai– cenomanjából került elő az *Isisfordia* csontváza, amely egy ősi Eusuchiához tartozott és igencsak összezavarja az Eusuchiák paleobiogeográfiájáról alkotott eddigi képünket (SALISBURY et al. 2006).

Az allligátorok eredetét a jelenleg rendelkezésre álló leletanyagok alapján nem lehet rekonstruálni, az észak-ameriaki kialakulást a bakonyi leletek nem támogatják, de nem bizonyítják az európai eredetet sem. A Crocodylia (=Gavialoidea + Crocodyloidea + Alligatoroidea) csoport látszólag előtörténet nélkül jelenik meg, hiszen az albai–cenomanból ismert *Isisfordia* után a bakonyi alligátorral már az Alligatoroidea csoport megjelenik, holott a legelső alapi *Crocodylia*, a *Borealosuchus* csak a maasthrichtiból ismert (BUSCALIONI et al. 2003). Az alligátorok esetében a fejletlen formák nagyjából együtt jelennek meg az ősi alakokkal Észak-Amerikában és Európában is. Ezek alapján úgy tűnik, hogy az alligátorok fejlődéstörténetéből számos részlet hiányzik és a fosszilis rekord nagyon részleges, ezért minden bizonnyal több, különböző korú „szellem-fauna" létezett és vár még felfedezésre. Ezek biogeográfiai jellemzői segíthetnek majd megismerni a legelső alligátorok kialakulásának helyét és fejlődését.

Dinosauria OWEN, 1842
Saurischia SEELEY, 1888
Theropoda MARSH, 1881
Dromaeosauridae MATTHEW et BROWN, 1922
Dromaeosauridae indet.

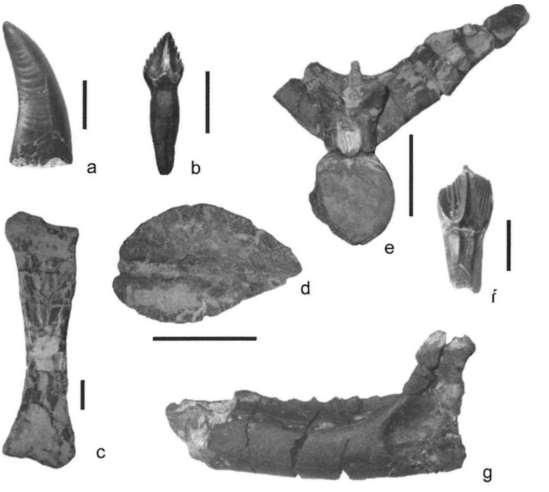
A dromaeosaurida Theropodákat ezidáig csak fogak (MTM V.2000.02, MTM V.2000.03, MTM V.2000.04, MTM V.2000.05, MTM V.2000.35) képviselik az iharkúti lelőhelyről (ŐSI 2004a). Ezek a kisméretű (néhány mm-től 1 cm-ig) fogak labiolinguálisan lapítottak, posterior irányban hajlottak. A fogkorona mindkét éle recézett, az élek a korona középsíkjában helyezkednek el. Mindkét oldali recék egyenlő hosszúak, számuk 8,5 és 10,5 egy mm-en belül. Az iharkúti dromaeosaurida fogai leginkább a *Richardoestesia* fogaihoz hasonlítanak. Hasonló típusú fogak a

Hátszegi-medencéből is ismertek (Csiki & Grigorescu 1998). Az iharkúti fogak hasonlítanak valamennyire a Velociraptorinae fogakhoz, de a korona a hazai leleteknél kevésbé hajlott, és a recék sem olyan görbültek.

A fogak mérete alapján ezek a ragadozó dinoszauruszok kb. kifejlett pulyka nagyságúak, esetenként annál valamivel nagyobbak lehettek.

Abelisauridae Bonaparte et Novas, 1985
?Abelisauridae indet.

Az iharkúti lelőhelyről a dromaeosaurida fogaknál gyakoribbak a nagyobb méretű, olykor a 3,5–4 cm-t is elérő, feltehetően abelisaurida ragadozó dinoszaurusz fogak (*3a ábra;* MTM V.01.20, V.01.30, V.01.54. V.2003.04. – V.2003.08). Jellemző rájuk, hogy mind az anterior, mind a posterior carinák recézettek, bár az anterior recézettség a korona közepénél elhal, sőt a carina sem folytatódik, a korona anteroventrális oldala lekerekített. Az Észak-Spanyolországból előkerült felső-kréta abelisaurida fognál lapítottabbak, anteroposterior irányban hosszabbak. Leginkább a Kelet-Ausztriából (Muthmannsdorf) előkerült, két töredékes



3. ábra. Dinoszaurusz-maradványok a felső-kréta Csehbányai Formációból (Iharkút, Bakony). a: ?Abelisauridae indet. fog, b: *Hungarosaurus tormai* fog, c: *Hungarosaurus tormai* jobb femur, d: *Hungarosaurus tormai* páncélelem, e: *Hungarosaurus tormai* háti csigolya, f: rhabdodontida alsó állkapocsbeli fog, g: rhabdodontida bal dentale. Méretarány: a, b, f: 1 cm; c–e, g: 5 cm

Fig. 3 Dinosaur remains from the Upper Cretaceous Csehbánya Formation (Iharkút, Bakony Mts). a: ?Abelisauridae indet. tooth, b: Hungarosaurus tormai tooth, c: Hungarosaurus tormai left femur, d: Hungarosaurus tormai armor element, e: Hungarosaurus tormai dorsal vertebra, f: rhabdodontid dentary tooth, g: rhabdodontid left dentary. Scale bar equals: a, b, f: 1 cm; c–e, g: 5 cm

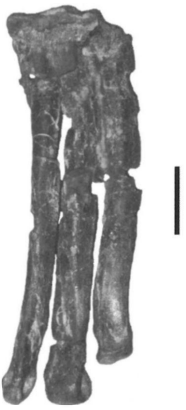
Theropoda foghoz („*Megalosaurus pannoniensis*" SEELEY 1881) hasonlítanak. Azok is hasonló recézettséggel rendelkeznek és az anterior recézettség hasonlóan elsimul ventrálisan.

A több tucat előkerült fog között jól megfigyelhető az a Theropoda fogakra általánosan jellemző tendencia, hogy az anterior helyzetű fogak kevésbé lapítottak, keresztmetszetük ovális, kerekded, míg a posterior helyzetűek jóval lapítottabbak és anteroposterior irányban szélesebbek.

Aves LINNAEUS, 1758
Ornithothoraces CHIAPPE, 1996
Enantiornithes WALKER, 1981
Enantiornithes indet.

Az európai késő-kréta gerinces faunák talán legritkább maradványai a madárcsontok. Az első biztos késő-kréta maradványok Dél-Franciaországból kerültek elő. Ez volt a nagyméretű *Gargantuavis philoinos*, mely valószínűleg futómadár volt (BUFFETAUT et al. 1995, BUFFETAUT & LE LOEUFF 1998). Ezenkívül előkerült egy coracoid, egy töredékes femur, és egy tibiotarsus melyeket BUFFETAUT (1998) és BUFFETAUT et al. (2000) a primitív Enantiornithesekhez sorolt.

A következő európai lelőhely, mely újabb madárleleteket szolgáltatott, az iharkúti terület volt (ŐSI 2003). Eddig biztosan négy csont sorolható a madarak közé és azok közül kettő az Enantiornitheseket képvisel (ŐSI in press). Ez a két csont méreteiben rendkívül eltér (l. alább), ami azt jelzi, hogy két különböző Enantiornithes élt a területen.



4. ábra. Enantiornithes indet. jobb tarsometatarsus. Méretarány: 1 cm

Fig. 4 Enantiornithes indet. right tarsometatarsus. Scale bar equals: 1 cm

Az egyik lelet egy töredékes, ám jó megtartású femur (MTM V.2002.05). A parányi (2,2 cm-es) csonton számos fontos Enantiornithes bélyeg, mint pl. a jellegzetes trochanterikus taréj, illetve a prominens posterior trochanter felismerhető. Méretei alapján kb. rigó méretű madárhoz tartozhatott. Érdekes, hogy általában a késő-krétában az Enantiornithesek jóval nagyobb méretűek, a legnagyobbak elérik az egy métert. Néhány képviselőjük azonban, mint pl. a Mexikó campani rétegeiből ismert *Alexornis* (BRODKORB 1976), vagy ez a hazai Enantiornithes megőrizték kora-kréta őseik kis méretét (CHIAPPE & WALKER 2002).

A másik Enantiornithes csont egy csaknem teljes jobb tarsometatarsus (*4. ábra*; MTM Gyn 439). Jellegzetessége, hogy csak a proximális végén forrtak össze a metatarsaliák (+ néhány tarsalia). Ez a tulajdonság kitűnően mutatja azt az átmeneti állapotot, mely a többnyire önálló metatarsaliákkal rendelkező dinoszauruszok és a fejlettebb, teljesen összeforrt metatarsaliákkal bíró Neornithesek között kialakult.

Méretei (hossz: 5,1 cm) alapján a tarsometatarsus az előző Enantiornithesnél jóval nagyobb, kb. ölyv nagyságú lehetett. A lelet további érdekessége, hogy a

második metatarsus rendkívül rövid, arányaiban rövidebb mint a *Yungavolucris*nál és a *Neuquenornis*ál (Walker 1981; Chiappe 1992). Ez az asszimetrikus felépítés azt sugallja, hogy a *Yungavolucris*hoz hasonlóan (Chiappe 1995) ez az Enantiornithes aquatikus vagy semi-aquatikus életmódot folytatott.

Ornithischia Seeley, 1887
Ankylosauria Osborn, 1923
Nodosauridae Marsh, 1890
Hungarosaurus Ősi, 2005
Hungarosaurus tormai Ősi, 2005

A magyarországi késő-kréta dinoszaurusz-faunát illetően az Ankylosauriák maradványai a leggyakoribbak a területen. Az iharkúti lelőhelyről elsőként leírt *Hungarosaurus tormai*ból összesen 4 részleges csontváz (MTM Gyn/404–MTM Gyn/407), továbbá több száz izolált csont és fog került elő, melyek az iharkúti lelőhelyet messzemenően Európa leggazdagabb felső-kréta páncélos dinoszaurusz lelőhelyévé teszik (*3. ábra, b–e* – Ősi 2005a). Az eddig felfedezett anyag alapján a teljes csontváznak kb. a 70%-a ismert.

A *Hungarosaurus*ra jellemző, hogy a premaxilla anterolaterális felszíne durva, csipkézett, lyukacsos. A vágóperem felszíne, továbbá annak laterális széle is egyenetlen, kitűnő tapadási felszín lehetett. Ezen kívül számos ideg és ér ki- és belépési helye figyelhető meg a csonton. Ezek mind arra utalnak, hogy az állat nem egy erős, esetleg elszarusodott, kevésbé érzékeny csőrszerű képződményt viselt (mint pl. a teknősök), hanem egy vastagabb húsos, egészen rugalmas és érzékeny szervet (hasonlóan a mai nagytestű, növényevő emlősökhöz), mellyel könnyedén tépte, legelte a növényzetet. A premaxilla anterior felén látható U-alakú bevágás, továbbá a jól fejlett nyelvcsontok azt támasztják alá, hogy az állat hosszú, flexibilis nyelvvel rendelkezett, mellyel könnyedén gyűjtötte be növényi táplálékát. Habár Nopcsa (1926) felvetette, hogy a *Struthiosaurus* rovarevő lehetett, mára az elfogadott álláspont az, hogy az Ankylosauriák növényevők voltak és csipkézett lapított fogukkal vágták, aprították a táplálékot (Coombs & Maryanska 1990, Vickaryous et al. 2004).

A szemüreg felett egy anteroposterior irányba húzódó csonttaréj található, illetve a szemüreg alatt a jugalén is egy erőteljes csontdudor helyezkedik el. Ezek a „csontdíszek" a „tradicionális" koponyacsontokon más Ankylosauriánál is (pl. a *Pawpawsaurus* Lee 1996) megjelennek.

A *Hungarosaurus* számos tulajdonságában eltér az Európa késő-krétájából eddig ismert egyetlen genustól, a *Struthiosaurus*tól (Bunzel 1871; Nopcsa 1929). Mind az összehasonlító csonttani vizsgálatok, mind pedig az anyagon elvégzett kladisztikai analízis azt igazolta, hogy a *Hungarosaurus* egy primitív nodosaurida, bélyegeiben primitívebb, mint idősebb, kora- ill. késő-kréta (cenoman) észak-amerikai rokonai (pl. *Pawpawsaurus, Silvisaurus*), ugyanakkor fejlettebb mint a nála fiatalabb (campani–maastrichti) *Struthiosaurus*.

A magyar páncélos dinoszaurusz fej–farok hosszúságot tekintve kb. 4–4,5 méteres lehetett, ezzel közepes méretűnek számít az Ankylosauriák csoportjában. Közel 1,5-szer nagyobb volt, mint legközelebbi rokona, a *Struthiosaurus* (Pereda-Suberbiola 1992).

Rhabdodontidae WEISHAMPEL, JIANU, CSIKI, et NORMAN, 2003
Rhabdodontidae indet.

A legelső, biztosan dinoszaurusztól származó csontmaradvány az iharkúti területről egy rhabdodontida Ornithopoda emésztett, mandibuláris foga volt (MTM V.2000.01; ŐSI 2004a). Azóta számos fog (*3. ábra, f*; MTM V.2000.32., MTM V.2000.33), töredékes alsó állkapcsok (*3. ábra, g*; MTM Gyn/471–Gyn/473), egy töredékes csigolya (MTM Gyn/475), két coracoideum (MTM, V.01.73, MTM Gyn/474) és végtagcsontok is napvilágra kerültek. Mind a mandibuláris, mind a maxilláris fogak rendkívül hasonlítanak a Dél-Franciaországból és Észak-Spanyolországból ismert *Rhabdodon* (MATHERON 1869), a Hátszegi-medencéből leírt *Zalmoxes* (NOPCSA 1902, WEISHAMPEL et al. 2003), illetve a kelet-ausztriai bizonytalan helyzetű rhabdodontida (BUNZEL 1871; NORMAN 2004) fogaihoz.

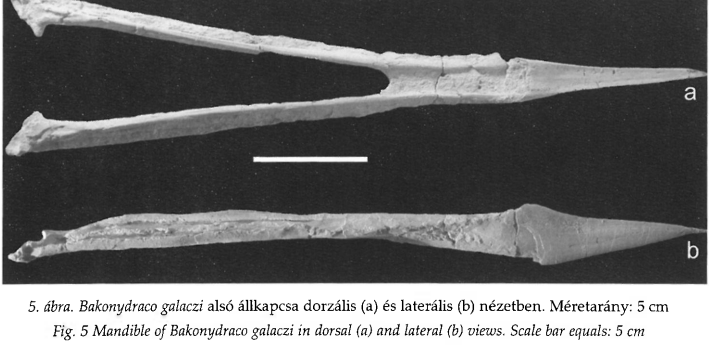
A fogakkal ellentétben a femur számos bélyegében különbözik a *Rhabdodon* és a *Zalmoxes* femurjától, mely azt sejteti, hogy a magyar rhabdodontida egy új taxont képvisel (ŐSI 2004a).

A leletek méretéből ítélve a magyar rhabdodontida kifejlett példányai fej–farok hosszúságot tekintve nem lehettek nagyobbak 2–2,5 méternél. Ezzel kis méretűnek számítanak a primitiv Iguanodotiák között. Összehasonlítva az erdélyi *Zalmoxes*szel méretében közelebb áll a 3 méteresre becsült *Z. robustushoz* mint a 4–4,5 m-es hosszúságot elérő *Z. shqiperorumhoz* (WEISHAMPEL et al. 2003).

Pterosauria KAUP, 1834
Pterodactyloidea, PLIENINGER, 1901
Azhdarchidae NESSOV, 1984
Bakonydraco ŐSI, WEISHAMPEL et JIANU, 2005
Bakonydraco galaczi ŐSI, WEISHAMPEL et JIANU, 2005

Az iharkúti terület volt az első magyarországi lelőhely, ahonnan (az első dinoszauruszok mellett) előkerültek az első pteroszaurusz maradványok (*5. ábra* – ŐSI 2004b). A lelőhelyen talált leletek mindegyike izolált, azonban vannak köztük rendkívül jó megtartásúak. Eddig ismerünk egy teljes alsó állkapcsot (MTM Gyn/3), 21 alsó állkapocs töredéket (MTM Gyn/4), négy töredékes nyaki csigolyát MTM Gyn/448–MTM Gyn/451) és töredékes végtagcsontokat (MTM V.2000.04; MTM Gyn/452, MTM Gyn/453 – ŐSI et al. 2005). Minthogy a leletek izoláltak, egyelőre biztosan csak az állkapocs-maradványok sorolhatók be az új *Bakonydraco* genusba. A postcraniális elemek Azhdarchidae indet.-nek tekinthetők, bár a parszimónia elvét követve nincs okunk két Azhdarchidae taxon jelenlétét feltételezni a területen.

A teljes alsó állkapocs különbözik minden eddig ismert azhdarchida mandibulától a symphysis mandibularis taréjának alakjában és méretében, illetve a fossa mandibularis alakjában. A mandibula symphysisének anterior fele egy erős, hegyes, csőrszerű képződmény, mely hasonlít az Üzbegisztánból és Spanyolországból leírt *Azhdarcho* állkapocstöredékeihez (NESSOV 1984, BUFFETAUT 1999), azonban a mandibuláris taréj ventrális éle oldalnézetben eltérő szögben húzódik posterior irányban. További különbség, hogy a symphysis anterior felének dorzális felszíne posterior irányban fokozatosan felfelé hajlik, az



5. ábra. Bakonydraco galaczi alsó állkapcsa dorzális (a) és laterális (b) nézetben. Méretarány: 5 cm

Fig. 5 Mandible of Bakonydraco galaczi in dorsal (a) and lateral (b) views. Scale bar equals: 5 cm

*Azhdarcho*nál ez a hajlás nem jelenik meg, bár nem ismerjük a teljes symphysealis szakaszt.

A nyaki csigolyák rendelkeznek minden, az Azhdarchidaek-ra jellemző tulajdonsággal, továbbá a condylus alatt ventrálisan található egy kb. fél cm átmérőjű üreg, mely egyedülálló az Azhdarchidaek körében, azonban a testvércsaládban (Tapejaridae) a *Tapejará*nál is megjelenik (Wellnhofer & Kellner 1991). Ez az üreg a neurális csatornától laterálisan elhelyezkedő lyukakhoz hasonlóan egy pneumatikus foramen lehet.

Összehasonlítva a teljes mandibulát a *Quetzalcoatlus*éval és a *Zhejiangopterus*éval a *Bakonydraco* becsült szárnyfesztávolsága kb. 3,5–4,0 m lehetett, amivel a közepes méretű pteroszauruszok közé sorolható.

Az egyik legérdekesebb kérdés a *Bakonydraco*nak és egyáltalán a fogatlan Azhdarchidaek-nak a táplálkozásmódja és tápláléka. Kezdetben azt gondoltuk, hogy a magyar pteroszaurusz képes volt az ollóscsőrű madarakhoz (skimmerek) hasonlóan közvetlenül a víz felett repülve nyitott alsó állkapcsával szelni a vizet és közben kikapni a halakat (Ősi 2004b). Ezt az ötletet több ok miatt is elvetettük. Egyrészt az állkapocsszárak hosszúak és rendkívül vékonyak, másrészt az állkapcsot mozgató és tartó izmok tapadási helyei igen kis felületek, gyengébb izmokat jelezve. Végül pedig az Azhdarchidaek-ra jellemző, extrém hosszú nyak sem lett volna képes mereven állni egy olyan terhelés esetén, amikor a mandibula repülés közben a vízben van (E. Frey szóbeli közlés). Ezek a problémák mind a *Quetzalcoatlus*, mind pedig a *Zhejiangopterus* esetében fennállnak, melyeknek még ismerjük a teljes madibuláját.

A *Bakonydraco* egyik lehetséges táplálkozásmódja a gyümölcsevés lehetett. A symphysis anterior felének konkáv, dorzális felszíne nagyon hasonlít a *Tapejara* symphysisére. Utóbbinál Wellnhofer & Kellner (1991) azt feltételezi, hogy zárt állapotban az alsó és a felső állkapcsok csak két ponton érintkeznek és így a symphysis feletti részen egy ovális nyílás marad, mely kitűnően alkalmas húsos gyümölcsök kipréselésére és fogyasztására.

Legvalószínűbb azonban, hogy a *Bakonydracó*nak nem csak egyféle táplálékforrása volt.

Feltételezzük, hogy az iharkúti pteroszaurusz vízparti területeken sekély vízből és/vagy parti részekről gyűjtötte be táplálékát (élő halakat, rákokat, esetleg molluszkákat, illetve dögöket), továbbá fás, bokros területeken, vagy ritkább lombkoronájú fákra felmászva szerezte be táplálékát.

Tafonómiai jellemzők

A Csehbányai Formáció kétféle csonttartalmú rétege közül a „bonebed" típusú kevert, részben áthalmozott rétegből előkerült csontok függetlenek egymástól, összefüggő csontvázrészek ezidáig még nem kerültek elő. Ezeknek a rétegeknek a képződése rövid, gyors eseményekhez kötődik. Az egykori meanderező folyó időnként, rendkívül nagy esőzések alkalmával kilépett medréből, átvágta a kanyarulatait és az addig száraz, ártéri, ártéren kívüli területeken is végighaladt, azokat elborította, összegyűjtve az elhullott állatok csontjait, esetenként elpusztítva kisebb állatokat. A csontok hosszabb rövidebb ideig szállítódtak, majd csomagokban, szélesebb foltokban lerakódtak. Így kerülhettek olyan szárazföldi állatok (pl. ragadozó dinoszauruszok, pteroszauruszok, madarak) csontjai is a vízi állatok csontjai közé, melyek általában magasabb, szárazabb térszínen éltek. Továbbá ezek a nagyméretű áradások már korábban lerakódott üledékeket is átmozgattak, kimosva belőlük korábbi fogakat, csontokat.

Az előkerült csontokon a szállítás közben keletkezett törési, kopási felületek a leggyakoribbak. A végtagcsontok epiphysisei gyakran hiányoznak, vagy igen gyakran kopottak. A csigolyák esetében a szárazföldi állatoktól (dinoszauruszok) származók nyúlványai gyakran hiányoznak, vagy erősen kopottak, a vízi állatoktól (teknősök, krokodilok, moszaszauruszok) származó csigolyák – a rövidebb szállításnak köszönhetően – általában épebbek. A begyűjtött szárazföldi állatok fogainál – elsősorban a páncélos dinoszauruszoknál – mind a használatból, mind a szállítódásból eredő kopásnyomok megfigyelhetők. A rhabdodontida fogak közül előkerült egy emésztett példány. A csontanyagban igen gyakori páncélos dinoszaurusz maradványok közül a páncélelemek általában kitűnő állapotban megmaradtak, viszont a szintén gyakori bordák kizárólag töredékek. A durvább befogadó üledéknek köszönhetően a kompakció kisebb volt, így a csontok is kevésbé összenyomottak.

A másik típusú, nyugodtabb szedimentációt tükröző csonttartalmú üledék, mely a fent leírt klasztos csontos réteg felett következik, tafonómiailag sokkal érdekesebb. Ebben a rétegben csak igen ritkán fordulnak elő csontok, azok viszont szinte minden esetben összefüggnek. Ez a réteg tartalmazta a páncélos dinoszaurusz csontvázakat. A csontvázakon kívül ritkán (max. 1%) független csontok, főleg teknősök, krokodilok csontjai, illetve egy szintén leírásra kerülő madárcsont is előkerült.

A legteljesebb előkerült Ankylosauria csontváz elemei mintegy 45 m^2-es területen szóródtak szét. Erről a területről egyetlen olyan csontmaradvány sem került elő, mely több páncélos dinoszaurusz egyed jelenlétére utalt volna (Ősi et al. 2003). A csontvázban két olyan rész maradt meg, ahol a csontok csaknem összekap-

csolódnak. Ezek a hiányos jobb mellső láb (radius, kézközépcsontok) és a koponya jobb hátsó felének négy eleme (quadratum, pterygoid, postorbitale, jugale). A csontok nem mutatnak folyóvízi szállítás eredményeként kialakult irányítottságot, sőt a csontegyüttesben az egyes testrészek (nyaki-anterior régió, háti régió, medence-farok régió), abból eredően pedig a tetem helyzete is felismerhető. A csontvázban ennek ellenére előfordul számos olyan elem, mely nem a megfelelő helyen található. További érdekes vonás, hogy előkerültek olyan csontok (pl. jobb alsó állkapocs hátsó része, páncélelemek), melyek töredékei egymástól több 10 cm-re temetődtek be, a begyűjtés és preparálás után azonban kitűnően összeilleszthetők voltak. Hogy közvetlenül az állat elpusztulása után fogyasztották-e a tetemet (szárazföldi és/vagy vízi) ragadozók vagy a halál után először szállítódott, majd miután valahol elakadt, utána fogyasztották (vízi ragadozók), nem tudni biztosan. Az egymástól távolra került, de összeilleszthető csontok és a darabokra tört koponya arra utal, hogy más állatok megtaposták, szétdöntötték a tetemet. A csontok a csontváz széthullását követően már nem szállítódtak, bár a folyóvíz, mely a betemető üledéket hozta, minden bizonnyal kissé elmozgatta őket.

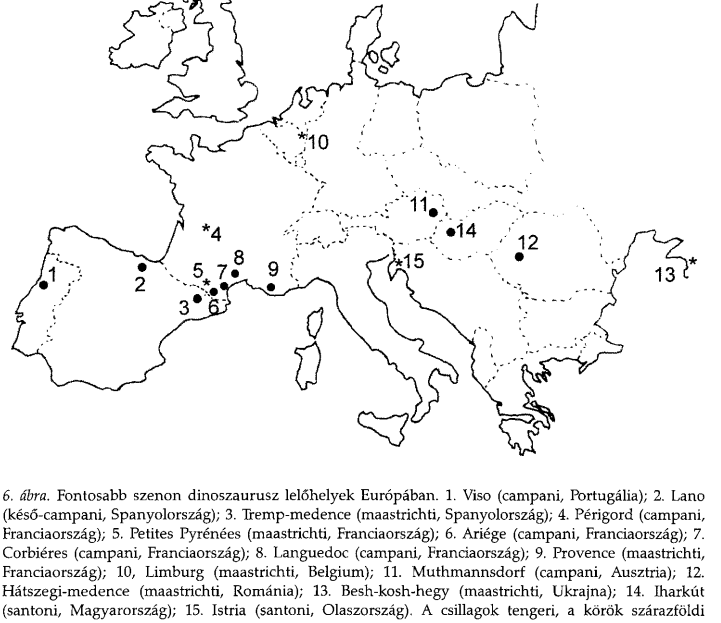
Mindkét rétegtípus csontjaira jellemző, hogy fekete, esetenként sötétbarna színűek. A finomabb szemcséjű agyagos, barna aleurolitos, finom homokos, szenesedett növényi részeket tartalmazó rétegnél az egykori anoxikus körülmények a fentiek mellett jól magyarázzák a csontok fekete színét. Valószínűsíthető, hogy a csontok a bennük fennmaradt kevés szerves anyag és a mindenütt megjelenő finom eloszlású pirit miatt feketék. A „bonebed" típusú rétegekből származó csontok többsége is fekete színű, pedig a befogadó kőzet világos szürke, világoszöld, erozív környezetben képződött. Ez esetben elképzelhető, hogy az elhullott csontok az előző réteghez hasonló, szerves anyagban dús, anoxikus körülmények között lerakódott rétegből származnak, amit a folyami áradás még konszolidálatlan állapotban megbolygatott, és a benne lévő fekete csontokat összegyűjtötte és szállította. Ez azonban leginkább a töredékes csontokra igaz, és nem vonatkozik olyan csontokra, melyek rendkívül törékeny felépítésük ellenére megmaradtak a ebben a durva, klasztos kőzetben (Csiki Z. szóbeli közlés). A szerves anyagra utal az is, hogy a meddőhányón talált csontok azon részei, melyek kiálltak egy kőtömbből és évekig mosta a felszínüket az eső, hó, kifehéredtek, világosszürkévé váltak (a szerves anyag eloxidálódott), míg a kőzetben lévő folytatásuk fekete maradt.

Az iharkúti Archosauria fauna összehasonlítása más európai felső-kréta dinoszaurusz faunákkal

Az iharkúti gerinceslelőhely számos érdekes tulajdonsággal rendelkezik, ha összehasonlítjuk más európai kontinentális gerinces lelőhelyekkel. A lelőhely santoni korú (Knauer & Siegl-Farkas 1992), ami, eltekintve egy nemrégiben felfedezett sekélytengeri dinoszaurusz lelőhelytől (Triest, Olaszország; Brazatti & Calligaris 1995, Dalla Vecchia 2001, *6. ábra*), egyedülálló Európában. A többi késő-kréta lelőhely campani–maastrichti korú (Buffetaut & Le Loeuff 1991, Le Loeuff & Buffetaut 1995). A magyar lelőhely megismerésével tehát a fosszilis anyagban a cenomán–campani korú leletek közti űr kisebb lesz. A megismert maradványok

egyfajta összekötő kapocsként szolgálnak az idősebb és fiatalabb taxonok között, magyarázattal szolgálhatnak az egyes csoportok fejlődését, vándorlását illetően, bár ez a fejlődés nem mutat éppen párhuzamot az idő múlásával, sőt, néha pont ellenkezőleg. Az iharkúti Archosauria-faunában számos olyan taxon szerepel (kettő közülük biztosan új), melyek náluk jóval idősebb kora-kréta, esetleg középső-kréta genusokkal mutatnak nagyobb hasonlóságot, illetőleg azon a fejlettségi szinten vannak, amely a csoportjukban már a kora-krétában kialakult.

A santoni *Hungarosaurus* legközelebbi rokona az európai campani–maastrichti *Struthiosaurus*. Anatómiai bélyegeikben azonban mind a két taxon primitívebb, mint



6. ábra. Fontosabb szenon dinoszaurusz lelőhelyek Európában. 1. Viso (campani, Portugália); 2. Lano (késő-campani, Spanyolország); 3. Tremp-medence (maastrichti, Spanyolország); 4. Périgord (campani, Franciaország); 5. Petites Pyrénées (maastrichti, Franciaország); 6. Ariége (campani, Franciaország); 7. Corbiéres (campani, Franciaország); 8. Languedoc (campani, Franciaország); 9. Provence (maastrichti, Franciaország); 10, Limburg (maastrichti, Belgium); 11. Muthmannsdorf (campani, Ausztria); 12. Hátszegi-medence (maastrichti, Románia); 13. Besh-kosh-hegy (maastrichti, Ukrajna); 14. Iharkút (santoni, Magyarország); 15. Istria (santoni, Olaszország). A csillagok tengeri, a körök szárazföldi lelőhelyek BUFFETAUT & LE LOEUFF (1991) nyomán módosítva

Fig. 6 Important Senonian dinosaur localities in Europe. 1 Viso (Campanian, Portugal); 2 Laño (Late Campanian, Spain); 3 Tremp-basin (Maastrichtian, Spain); 4 Périgord (Campanian, France); 5 Petites Pyrénées (Maastrichtian, France); 6 Ariége (Campanian, France); 7 Corbiéres (Campanian, France); 8 Languedoc (Campanian, France.); 9 Provence (Maastrichtian, France.); 10 Limburg (Maastrichtian, Belgium); 11 Muthmannsdorf (Campanian, Austria); 12 Hátszegi-medence (Maastrichtian, Romania); 13 Besh-kosh hill (Maastrichtian, Ukrajna); 14 Iharkút (Santonian, Hungary); 15 Istria (Santonian, Italy). Stars indicate marin localities, circles indicate continental localities based on BUFFETAUT & LE LOEUFF (1991)

idősebb észak-amerikai nodosaurida társaik. Sőt, a *Struthiosaurus* még a *Hungarosaurus*nál is primitívebb, pedig a legfiatalabb (maastrichti) nodosaurida Ankylosauria. Az Iharkútról megismert speciális heterodont Eusuchia krokodil anatómiailag legközelebbi rokona a Wealden alsó-krétájából (barremi) kiásott *Hylaeochampsa vectiana* Owen, 1874. Ezek a tulajdonságok, azt sejtetik, hogy a hazai fauna fent említett elemei egy egészen ősi faunaprovincia/ák maradványai, melyek valamikor a kora-krétában (krokodilok esetében legkésőbb a barremiben, az Ankylosauriák esetében az aptiban vagy még korábban) létezett. Ezeket az ősi állapotokat tükröző taxonok annak idején számos területet benépesíthettek, többek között akár (bár nem szükségszerűen) a Mediterraneum szigetvilágát, ahol csaknem 40 millió éven keresztül fennmaradtak és közben területről területre vándorolhattak. Ezek a szigetek alkalmasak voltak arra, hogy az ősi csonttani bélyegek megőrződjenek, továbbá, hogy a sziget-faunákra jellemző kis termet kialakuljon Az iharkúti régió is egyfajta refúgium lehetett, amelyet már Nopcsa is felvetett a Hátszegi-medence faunájával kapcsolatban (Nopcsa 1923, Weishampel et al. 1991). Az iharkúti fauna elszigeteltségére utalhat pl. az egészen speciális kistermetű heterodont Eusuchia krokodil, vagy a szintén kistermtű, rhabddontida Ornitopoda.

A második fontos és kivételes tulajdonsága a hazai lelőhelynek, hogy a páncélos dinoszaurusz maradványok rendkívül gyakoriak a területen (a dinoszaurusz csontok 90%-a). Több Ankylosauria lelet került elő, mint bármely más felső-kréta európai lelőhelyről (Ősi 2002). Mindazonáltal a rhabdodontida Ornithopoda leletek sokkal ritkábbak, mint a romániai, franciaországi, vagy spanyolországi lelőhelyeken (Ősi 2004c). Ennek oka az egykori környezetben keresendő. Az iharkúti területen sokkal nagyobb mennyiségben fordulnak elő egészen finom, agyagos, aleurolitos, tarkaagyagos képződmények, mint a többi lelőhelyen, ahol inkább a durva homokos, sőt néhol kavicsos rétegek dominálnak (Grigorescu 1983, Astibia et al. 1999). A hazai terület egy egészen sík, dús vegetációjú, lassú folyású alsó szakasz jellegű folyóágakkal szabdalt, néhol (Ajkai Kőszén Formáció képződési színtere felé egyre gyakrabban) mocsaras, ártéri környezet volt. A nagy mennyiségű lelet alapján azt gondoljuk, hogy ezeknek a páncélos dinoszauruszoknak ez a folyóágakkal, övzátonyokkal tarkított, részben vízzel borított, gazdag vegetációjú ártéri terület volt az otthonuk. Itt éltek, könnyedén gázoltak a néhány 10 cm-es, vagy akár mélyebb vízzel borított területeken és legelték a gazdag növényzetet. Érdekes, hogy az észak-amerikai páncélos dinoszauruszok közül a nodosaurida ankyloszauruszok maradványai gyakran tengeri, vagy tengerparton képződött üledékekből kerülnek elő. Ezek önálló, gyakran csak részleges csontvázak, melyek a partról sodródhattak be (Coombs 1995, Coombs & Deméré 1996, Lee 1996). Ez is alátámasztja azt a mások által is támogatott elképzelést (Horner 1979), hogy a nodosauridáknál az élőhely igen sok esetben vízhez kötött volt, mely folyóvízi, folyótorkolati, ártéri illetve tengerparti területeket jelentett.

A harmadik fontos különbség a többi lelőhelyhez képest, hogy a legtöbb csoportban genusszinten új taxonok jelennek meg az iharkúti területen. Az eddigi kutatások alapján egy új bothremydida teknős (Botfalvai 2005), egy új mosasaurida (Makádi 2005, lásd még Makádi et al., jelen kötet), krokodilok esetében kettő (Eusuchia indet., Alligatoroidea indet.), egy új Ankylosauria, egy új rhabdodontida és valószínűleg egy új Enantiornithes került elő a területről (Ősi et al. 2003, Ősi in

press, RABI 2005a). Az új heterodont Eusuchiához hasonló, rokon krokodilok egyáltalán nem ismertek más felső-kréta gerinces lelőhelyről. Az Alligatoroidea leletek bár töredékesek, bélyegeik alapján nem sorolhatók be egyik ismert Alligatoroidea genusba sem. A nodosaurida *Struthiosaurus* mindegyik európai lelőhelyről ismert, Magyarországról azonban egy teljesen új genus került elő. A rhabdodontida Ornithopoda-leletek előzetes vizsgálata azt mutatja, hogy a Nyugat-Európából ismert *Rhabdodon* és az Erdélyből ismert (korábban *Rhabdodon*ként tárgyalt leletek, NOPCSA 1915) *Zalmoxes* (WEISHAMPEL et al. 2003) mellett egy új taxon képviseli a hazai faunát.

A negyedik fontos különbség a fent említett európai lelőhelyekkel összevetve az, hogy nem került elő hadrosaurida Ornithopoda és titanosaurida Sauropoda dinoszaurusz-maradvány. Ez a kelet-ausztriai lelőhelynél is így van. Ez magyarázható azzal, hogy ezidáig még nem találtuk meg őket, de akár az is lehet, hogy valójában ezek a csoportok – bár a hadrosauridák már ismertek késő-santoniban Észak Olaszországban – ekkora még nem érték el (a Sauropodák esetében újra) az Európai területeket (l. a következő fejezetet).

Paleobiogeográfiai kapcsolatok

Ismerve a magyarországi késő-kréta kontinentális gerinces fauna elemeit, a fauna hasonlóságait és különbségeit összevetve más késő-kréta faunákkal, felvetődik a kérdés, hogy a hazai fauna hogyan illeszthető be az európai késő-kréta biogeográfiába.

A hazai fauna paleobiogeográfiai kapcsolatainak vizsgálatában leginkább a szárazföldi taxonok, kapcsolataik nyomozása a legérdekesebb, minthogy a kimondottan vízhez alkalmazkodott csoportok könnyebben vándorolnak egy szigettengerszerű Mediterraneumban. A hazai bothremydida teknősök a Dél-Franciaországból előkerült, maastrichti *Foxemys*szel, míg az iharkúti moszaszauruszok a Marokkóból előkerült turoni *Tethysaurus*szal mutatnak legközelebbi rokonságot (MAKÁDI et al., jelen kötet). Ezek a taxonok „csak" 8–15 millió évvel idősebbek, vagy éppen fiatalabbak legközelebbi rokonaiknál, míg a heterodont Eusuchia krokodil közel 40 millió évvel, a *Hungarosaurus* mintegy 30 millió évvel fiatalabb hasonlóan primitív észak-amerikai rokonainál. A *Struthiosaurus* pedig csaknem 60 millió évvel fiatalabb, mint fejlettebb észak-amerikai rokonai (WEISHAMPEL et al. 1991).

Az Európai késő-kréta faunák (*6. ábra*) eredetüket tekintve vegyes összetételűek (LE LOEUFF 1991). Tartalmaznak észak-amerikai eredetű és Gondwana eredetű csoportokat is. Vizsgálva az észak-amerikai fauna-bevándorlás lehetőségét, feltételezhető, hogy valamikor a barremi–apti idején létezett egy észak-amerikai/euramerikai (Észak-Amerika+Grönland+Európa) faunaprovincia, melynek bizonyos elemei olyan nyugat-európai, kelet-európai, majd mediterrán területekre jutottak el, ahol elszigetelődtek és ott primitív bélyegeiket megőrizve évmilliókig fennmaradtak. Addigra az eredeti euramerikai területeken, ahonnan ezek az elemek származtak, a fauna már átalakult és fejlettebb taxonok jelentek meg. Ez történhetett a két európai Ankylosauriával (*Struthiosaurus, Hungarosaurus*), illetve a heterodont Eusuchia és Alligatoroidea krokodilokkal.

Észak-amerikai kapcsolatra utal még az utóbbi évtizedben számos európai lelőhelyről, így hazánkból is előkerült kisméretű ragadozók, a dromaeosauridák jelenléte. Ezek a leletek leginkább fogak, esetenként igen hiányos csontváz részek (*Variraptor*, Le Loeuff & Buffetaut 1998; *Pyroraptor*, Allain & Taquet 2000). A magyarországi dromaeosaurida fogak, illetve néhány erdélyi fog az észak-amerikai *Richardoestesiá*val mutat nagy hasonlóságot, alátámasztva az észak-amerikai eredetet. Legújabban azonban Amiot et al. (2004) írnak le dromaeosaurida fogakat marokkói cenoman rétegekből, ami felveti, hogy a csoport Európába akár Afrikából is jöhetett.

Le Loeuff (1991) szerint a kréta során a Tethys záródása következtében először volt egy barremi–albai korszakokban bekövetkezett faunavándorlás Afrika és Európa között. Ekkor érhették el először a Gondwana-eredetű titanosauridák az euramerikai területeket. Titanosaurida leletek ismertek Anglia barremi és talán Észak-Amerika apti rétegeiből (Russell 1985). A következő titanosaurida adat Európából a felső-campaniból ismert. Sem az iharkúti santoni, sem a kelet-ausztriai alsó-campani lelőhelyekről nem ismert titanosaurida. Ez tehát nem zárja ki azt a lehetőséget, hogy a korábbi, középső-kréta titanosauriák kihaltak valamikor a precampani időszakban és a campani végéig nem éltek Sauropodák Európában.

A magyar faunában tehát az egyedüli afrikai rokonságra utaló nyom a feltételezett abelisaurida fogak. Pontosan ilyen fogak ismertek a kelet-ausztriai alsó-campani lelőhelyről is. Ezek a fogak leginkább az Abelisauridae fogakhoz hasonlítanak, Európából azonban ez a csoport csak a campanitól ismert.

A nemrégiben felfedezett isztriai (Észak-Olaszország), santoni korú hadroszaurusz fauna Dalla Vecchia (2001) szerint primitív bélyegeket hordoz és feltehetőleg közeli rokonságban van a maastrichti korú erdélyi *Telmatosaurus*szal. Elmélete szerint ezek a hadroszauruszok a dél-közép-ázsiai (Üzbegisztán, Kazahsztán) területekről vándoroltak nyugat felé, Európába, a Tethys északi peremén kialakult szubdukciós szigetíveken keresztül. Majd a campani során kisméretű szigeteken kellett létezniük, hogy primitív bélyegeiket a maastrichti végéig megőrizzék. A kérdés, hogy a hasonlóan santoni iharkúti területet vajon elérték-e a hadroszauruszok és ha nem, akkor miért nem. Könnyen elképzelhető, hogy az isztriai és az iharkúti terület létezése közötti idő földtörténeti értelemben csak egy hajszálnyi volt, de elég ahhoz, hogy az első Európába érkező hadroszauridák még nem értek el az feltehetően idősebb iharkúti területre.

Összességében tehát az iharkúti kontinentális fauna (hasonlóan a jóval szegényebb kelet-ausztriai lelőhelyhez) legnagyobb része euramerikai eredetet mutat, bár számos kevéssé ismert taxon (Albanerpetontidae, Squamata, *Doratodon*) nem került vizsgálatra.

Összegzés

Az iharkúti késő-kréta (santoni) Archosauria fauna (krokodilok, dinoszauruszok, madarak és pteroszauruszok) rendkívül fontos a késő-kréta Európa biogeográfiában. A hazai faunában megjelenő főbb csoportok mindegyike (Alligatoroidea, Abelisauridae, Dromaeosauridae, Nodosauridae, Rhabdodontidae, Azhdarchidae) ismert a hasonló korú európai faunákban, genusszinten azonban már eltérések

mutatkoznak. Az eddig előkerült anyag alapján megállapítható, hogy az Alligatoroidea, Nodosauridae, Rhabdodontidae, Azhdarchidae csoportokat új taxonok képviselik az iharkúti területen. Ezek mellett egy új, primitív Eusuchia krokodil a legjobban reprezentált taxon a hazai faunában.

A fauna egyik különlegessége, hogy a primitív heterodont Eusuchia és a *Hungarosaurus* (hasonlóan a *Struthiosaurus*hoz) náluk jóval idősebb (kora- és középső-kréta) taxonokkal rokonítható. Ez azt sugallja, hogy ezek az elemek egy jóval korábbi (barremi/apti), euramerikai faunaprovincia maradványai, melyek ősi csonttani bélyegeiket évmilliókon át megőrizve mind a nyugat-európai, mind a mediterrán területeken fennmaradtak egészen a késő-krétáig.

A santoni korú iharkúti Alligatoroidea-leletek, mint a csoport legidősebb képviselői megkérdőjelezik a család észak-amerikai eredetét és felvetik egy Európához közelebb eső ősfauna létezését. Az iharkúti krokodilfauna jellegzetessége, hogy az eddig felfedezett három taxon mind különböző szerepet töltött be az egykori élőhelyén és ilyen változatos ökológiájú együttes az európai és az észak-amerikai felső-krétából csak a bakonyi lelőhelyről ismert.

Az Európa késő-krétájából biztosan csak Franciaországból és most már a hazai lelőhelyről is ismert Enantiornithes madárleletek arra utalnak, hogy a madaraknak ez a kihalt, primitív csoportja domináns szerepet töltött be az Európai késő-kréta madárvilágban hasonlóan a dél-amerikai, észak-amerikai, vagy ázsiai avifaunákhoz.

Köszönetnyilvánítás

Mindenek előtt hálával tartozunk TORMA Andrásnak, JOCHÁNÉ-EDELÉNYI Emőkének és CSÁSZÁR Gézának, akik nagyban segítségünkre voltak a lelőhely megtalálásában. Lekötelezettjei vagyunk a Bakonyi Bauxitbánya Kft.-nek, azon belül KOVACSICS Árpádnak, LEGEZA Miklósnak és PATAKI Attilának, BÖRÖCZKY Tamásnak, FODOR Gézának, a Geovolán Kft. részéről KERTÉSZ Lászlónak és GYARMAT Dezsőnek, továbbá ŐSI Jánosnak és ŐSI Jánosnénak a területen végzett ásatások szervezésében nyújtott segítségükért és a letakarítási munkálatok koordinálásáért. Munkánkat szakmailag segítették: David B. WEISHAMPEL, Coralia M. JIANU, Eric BUFFETAUT, Jean LE LOEUFF, James M. CLARK, Michael W. CALDWELL, Matthew VICKARYOUS, Susan E. EVANS, KOCSIS László, CSIKI Zoltán, Vladimir R. ALIFANOV, Natalie BARDET, KORDOS László, GÖRÖG Ágnes, GASPARIK Mihály, ZBORAY Géza, Kenneth CARPENTER, Xabier PEREDA-SUBERBIOLA, Angela MILNER, MINDSZENTY Andrea, KÁZMÉR Miklós, GALÁCZ András, SZENTE István, MÉSZÁROS Lukács, Massimo DELFINO, Hayian TONG, Christopher BROCHU, Angela BUSCALIONI, Luis CHIAPPE, E. Dino FREY, Daniela SCHWARZ.

Hálásak vagyunk mindazoknak, akik részt vettek és segítettek az ásatásokon és a preparálásban.

A következő személyek segítették munkánkat a hazai és külföldi összehasonlító anyag vizsgálatában: Coralia M. JIANU, Dr. Gerhard HAHN, Norbert VÁVRA, Carmelo CORRAL, Jean LE LOEUFF és Sylvain DUFFAUD, Angela MILNER és Sandra CHAPMAN, Ivy RUTZKY, Judy GALKIN és Carl MEHLING, Michael K. BRETT-SURMAN, Kenneth CARPENTER, Natalie BARDET, Etienne STEURBAUT, Marisa BLUME, Torsten WAPPLER, Norbert MICKLICH.

Köszönettel tartozunk a lektoroknak, Csiki Zoltánnak és Mészáros Lukácsnak hasznos tanácsaikért.

A következő cégek, intézmények támogatták anyagilag a kutatásokat: Magyar Természettudományi Múzeum, OTKA (T-38045), Pro Renovanda Cultura Hungariae Alapítvány, National Geographic Society (Grant-No. 7228-02), Univer Rt., Light Tech Kft., Piszke Papír Rt., Ferrokémia Rt. Europharma Kft., Mol Rt., Balfi Rt., Kaposvári Egyetem.

Irodalom – References

Allain, R. & Taquet, P. 2000: A new genus of Dromaeosauridae (Dinosauria, Theropoda) from the Upper Cretaceous of France. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **20/2**, 404–407.

Amiot, R., Buffetaut, E., Tong, H., Boudad, L. & Kabiri, L. 2004: Isolated theropod teeth from the Cenomanian of Morocco and their palaeobiogeogarphical significance. – *Revue de Paléobiologie* **9**, 143–149.

Astibia, H., Murelaga, X., Suberbiola X.-P., Elorza, J. J. & Gomez-Alday, J. J. 1999: Taphonomy and palaeoecology of the Upper Cretaceous continental vertebrate-bearing beds of the Laño quarry (Iberian Peninsula). – *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Alava* **14** (Num. Espec.1), 43–104.

Botfalvai, G. 2005: Bothremydidae indet. from the Upper Cretaceous of Hungary (Csehbánya Formation). – 3rd Meeting of the EAVP, Abstract, Kaupia **14**, 71.

Brazzatti, T. & Calligaris, R. 1995: Studio preliminare di reperti ossei di dinosauri del Carso Triestino. – *Atti Mus. Civ. Stor. Nat. Trieste* **46**, 221–226.

Brinkmann, W. 1992: Die Krokodilier-Fauna aus der Unter-Kreide (Ober-Barremium) von Una (Provinz Cuenca, Spanien). – *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reiche E, Band* **5**, 1–123.

Brochu, C. A. 1999: Phylogenetics, taxonomy, and historical biogeography of Alligatoroidea. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **19** (Mem. 6), 9–100.

Brodkorb, P. 1976: Discovery of a Cretaceous bird, apparently ancestral to the orders Coraciformes and Piciformes (Aves: Carinatae). – *Smithsonian Contributions to Paleobiology* **27**, 67–73.

Buckley, G. A., Brochu, C. A., Krause, D. W. & Pol, D. 2000: A pug-nosed crocodyliform from the Late Cretaceous of Madagascar. – *Nature* **405**, 941–944.

Buffetaut E. 1979: Revision der Crocodylia (Reptilia) aus den Gosau-Schitchten (Ober-Kreide) von Österreich. – *Sonderdruck Beiträge zur Paläontologie von Österreich* **6**, 89–105.

Buffetaut, E. 1998: First evidence of enantiornithine birds from the upper Cretaceous of Europe: postcranial bones from Cruzy (Hérault, France). – *Oryctos* **1**, 127–130.

Buffetaut, E. 1999: Pterosauria from the Upper Cretaceous of Laño (Iberian Peninsula): a preliminary comparative study. – *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Alava* **14**, 289–294.

Buffetaut, E. & Le Loeuff, J. 1991: Late Cretaceous dinosaur faunas of Europe: some correlation problems. – *Cretaceous Research* **12**, 159–176.

Buffetaut, E. & Le Loeuff, J. 1998: A new giant ground bird from the Upper Cretaceous of southern France. – *Journal of Geological Society*, London **155**, 1–4.

Buffetaut, E., Le Loeuff, J., Mechin P. & Mechin-Salessy, A. 1995: A large French Cretaceous bird. – *Nature* **377**, 110.

Buffetaut, E., Mechin, P. & Mechin-Salessy, A. 2000: An archaic bird from the Upper Cretaceous of Provence (southern France). – *Comptes Rendus de la Academie de Sciences Paris* **331**, 557–561.

Bunzel, E. 1871: Die Reptilfauna der Gosau Formation in der neuen Welt bei Wiener-Neustadt. – *Abhandlungen der k. k. geologische Reichsanstalt* **5**, 1– 18.

Buscalioni, A. D., Ortega, F. & Vasse, D. 1999: The Upper Cretaceous crocodilian assemblage from Laño (Northcentral Spain): implications in the knowledge of the finicretaceous European faunas. – *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Alava* **14**, 212–233.

Buscalioni, A. D. & Ortega, F. 2002: The Upper Cretaceous crocodilian fossil record. – *Sargetia, Acta Mus. Ser. Sci. Nat. Deva. Vol.* **XIX–2002**, 5–11.

Buscalioni, A. D., Pérez-Moreno, B. P. & Sanz, J. L. 2003: Pattern of biotic replacement of modern crocodiles during the Late Cretaceous. – *Coloquios de Paleontología* **1**, 77–93.

CHIAPPE, L. M. 1992: Enantiornithine tarsometatarsi and the avian affinity of the Late Cretaceous Avisauridae. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **12**, 344–350.

CHIAPPE, L. M. 1995: Bird diversity in the age of dinosaurs. – *Natural History* **6**, 58–65.

CHIAPPE, L. M. & WALKER, C. A: 2002. Skeletal Morphology and Systematics of the Cretaceous Euenantiornithes (Ornithothoraces: Enantiornithes). – In: CHIAPPE, L. M. & WITMER, L. (eds): Mesozoic Birds: Above the Head of Dinosaurs. University of California Press, Berkeley, 240–267.

CLARK, J. M. 1994: Patterns of evolution in Mesozoic Crocodyliformes. – In: FRASER, N. C., SUES, H.-D. (eds.): In the Shadow of the Dinosaurs. Cambridge University Press, New York, 84–97.

CLARK, J. M. & NORELL, M. A. 1992: The Early Cretaceous Crocodylomorph *Hylaeochampsa vectiana* from the Wealden of the Isle of Wight. – *American Museum Novitates* **3032**, 1–19.

CLARK, J. M, JACOBS, L. & DOWNS, W. R. 1989: Mammal-like dentition in a Mesozoic crocodylian. – *Science* **244**, 1064–1066.

COMPANY, J., PEREDA SUBERBIOLA, X., RUIZ-OMEÑACA, J. I. & BUSCALIONI, A. D. 2005: A new species of Doratodon (Crocodyliformes: Ziphosuchia) from the Late Cretaceous of Spain. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **25/2**, 343-353.

COOMBS, P. W. 1995: A new nodosaurid ankylosaur (Dinosauria: Ornithischia) from the Lower Cretaceous of Texas. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **15/2**, 298–312.

COOMBS, P. W. & MARYANSKA, T. 1990: Ankylosauria. – In: WEISHAMPEL, D. B., DODSON, P. & OSMÓLSKA, H. (eds): The Dinosauria. California University Press, 456–483.

COOMBS, P. W. & DEMÉRÉ, T. A. 1996: A Late Cretaceous nodosaurid ankylosaur (Dinosauria: Ornithischia) from marine sediments of coastal California. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **70/2**, 311–326.

CSIKI, Z. & GRIGORESCU, D. 1998: Small theropods from the Late Cretaceous of the Haţeg Basin (Western Romania) – An unexpected diversity at the top of the food chain. – *Oryctos* **1**, 87–104.

DALLA VECCHIA, F. M. 2001: Paleogeographic implications of the presence of hadrosaurian dinosaurs on the Late Cretaceous Adriatic–Dinaric Carbonate Platform (Italy). – International Conference on Paleobiogeography & Paleoecology, Piacenza & Castell'Arquato (Italy). Abstact, 52–53.

GOMANI, E. 1997: A crocodyliform from the Early Cretaceous Dinosaur beds, northern Malawi. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **17**, 280–294.

GRIGORESCU, D. 1983: A stratigraphic, taphonomic and paleoecologic approach to a "forgotten land": The dinosaurbearing deposits from the Haţeg Basin (Transylvania – Romania). – *Acta Paleontologica Polonica* **28**, 103–121.

GRIGORESCU, D. & HAHN, G. 1987: The first multitubeculate teeth from the Upper Cretaceous of Europe (Romania). – *Geologica et Palaeontologica* **21**, 237–241.

GRIGORESCU, D., VENCZEL, M., CSIKI, Z. & LIMBEREA, R. 1999: New latest Cretaceous microvertebrate fossil assemblages from the Haţeg Basin (Romania). – *Geologie en Mijnbouw* **78**, 301–314.

HORNER, J. A. 1979: Upper Cretaceous dinosaurs from the Bearpaw Shale (marine) of south-central Montana, with a checklist of Upper Cretaceous remains from marine sediments in North America. – *Journal of Paleontology* **53**, 566–577.

KNAUER, J. & SIEGL-FARKAS, Á. 1992: Palynostratigraphic position of the Senonian beds overlying the Upper Cretaceous bauxite formations of the Bakony Mts. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi jelentése* **1990**-*ről*, 463-471.

LEE, J.-N. 1996: A new nodosaurid ankylosaur (Dinosauria: Ornithischia) from the Paw Paw Formation (late Albian) of Texas. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **16**, 232–245.

LE LOEUFF, J. 1991: The campano-maastrichtian vertebrate faunas from southern Europe and their relationships with other faunas in the world; palaeobiogeographical implications. – *Cretaceous Research* **12**, 93–114.

LE LOEUFF, J. & BUFFETAUT, E. 1995: The evolution of Late Cretaceous non-marine Vertebrate fauna in Europe. – Sixth Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems and Biota, Short Papers. China Ocean press, Beijing, 181–184.

LE LOEUFF, J. & BUFFETAUT, E. 1998: A new dromaeosaurid theropod from the Upper Cretaceous of southern France. – *Oryctos* **1**, 105–112.

MAKÁDI, L. 2005: A new aquatic varanoid lizard from the Upper Cretaceous of Hungary. – 3rd Meeting of the EAVP, Abstract. Kaupia 14, 106.

MAKÁDI L., BOTFALVAI G. & ŐSI A. 2006: Egy késő-kréta kontinentális gerinces fauna a Bakonyból: halak, kétéltűek, teknősök, gyíkok. – *Földtani Közlöny,* **136/4** (jelen kötet).

MARTIN, J. E. & BUFFETAUT, E. 2005: An overview of the Late Cretaceous crocodilian assamblage from Cruzy, southern France. – 3rd Meeting of the EAVP, Kaupia Darmstädter *Beiträge zur Naturgeschichte.* **14**, 33–44 .

MATHERON, P. 1869: Notes sur les reptiles fossiles des dépots fluvio-lacustres crétacés du bassin a lignite de Fuveau. – *Bulletin de la Société de la Géologique de France* sér. **2, 26**, 781–795.

MÁRTONNÉ SZALAI E. 2005: Paleomágneses vizsgálatok Iharkúton. – Kézirat, ELTE Alkalmazott Földtani Tanszék, 2 p.

NESSOV, L. A. 1984: Upper Cretaceous pterosaurs and birds from Central Asia. – *Paleontologicheskiy Zhurnal* **1**, 47–57. (oroszul).

NOPCSA, F. 1902: Dinosaurierreste aus Siebenbürgen II. (Schädelreste von Mochlodon). Mit einem Anhange: Zur phylogeni der ornithopodiden. – *Denkschrift der kaiserliche Akademie der Wissenschaften. Mathematische-Naturwissenschaftliche Klasse* Wien **72**, 149–175.

NOPCSA, F. 1915: Die Dinosaurier der siebenbürgischen Landesteile Ungarns. – *Mitteilung des Jahrbuches der K. Ungarische Geologische Reichsanstalt* **23**, 1–26.

NOPCSA, F. 1923: On the geological importance of the primitive reptilian fauna in the uppermost Cretaceous Hungary; with the description of a new tortoise. – *Quarternaly Journal of the Gelogical Society of London* **79**, 100–116.

NOPCSA, F. 1926: A 4000 lb. insectivorous dinosaur. – *Illustrated London News* **169**, 466–467.

NOPCSA. F. 1929: Dinosaurierreste aus Siebenbürgen V. – *Geologica Hungarica ser. Palaeontologica* **4**, 1–76.

NORMAN, D. B. 2004: Basal Iguanodontia. – In: WEISHAMPEL, D. B., DODSON, P. & OSMÓLSKA, H. (eds): The Dinosauria, second edition. The University of California Press, Berkeley, California, 413–437

OWEN, R. 1874: Monograph on the fossil Reptilia of the Wealden and Purbeck Formations. Suppl. No. 6 (Hylaeochampsa.) – *Paleontographic Soc. Mon.* **27**, 7.

ŐSI, A. 2002: Dinosaurs from the Upper Cretaceous of Hungary – similarities and differences with other Upper Cretaceous faunas. – Abstract. 3 rd Georges Cuvier Symposium, Montbéliard, ELTE Őslénytani Tanszék, 1 p.

ŐSI A. 2003: A magyarországi késő-kréta dinoszaurusz fauna vizsgálata. – Kézirat (szakdolgozat), ELTE Őslénytani Tanszék, 1–66.

ŐSI, A. 2004a: The first dinosaur remains from the Upper Cretaceous of Hungary (Csehbánya Formation, Bakony Mts), – *Geobios* **37**, 749–753.

ŐSI A. 2004b: Halászó repülő hüllők Magyarországról. – *Élet és Tudomány* **LIX(37)**, 1172–1174.

ŐSI, A. 2004c: Dinosaurs from the Late Cretaceous of Hungary – similarities and differences with other European Late Cretaceous faunas. – *Revue de Paleobiologie* **9**, 51–54.

ŐSI, A. 2005a: *Hungarosaurus tormai*, a new ankylosaur (Dinosauria) from the Upper Cretaceous of Hungary. – *Journal of Vertebrate Paleontology* **25/2**, 370–383.

ŐSI A. 2005b: Krokodilok Magyarországról. – *Élet és Tudomány* **LX(9)**, 230–232.

ŐSI, A. in press: Enantiornithine bird remains from the Late Cretaceous of Hungary. – *Oryctos.*

ŐSI A., WEISHAMPEL, D. B. & JIANU, C. M. 2003: Dinosaurs from the Upper Cretaceous of Hungary. – *Advances in Vertebrate Paleontology*, Hen to Pantha, Bucharest, 117–120.

ŐSI A., WEISHAMPEL, D. B. & JIANU, C. M. 2005: An Azhdarchid Pterosaur from the Late Cretaceous of Hungary. – *Acta Paleontologica Polonica* **50/4**, 777–787.

PEREDA-SUBERBIOLA, X. 1992: A revised census of European Late Cretaceous nodosaurids (Ornithischia: Ankylosauria): last occurrence and possible extinction scenarios. – *Terra Nova* **4**, 641–648

POL, D., JI, S., CLARK, J. M., CHIAPPE, L. M. 2004: Basal crocodyliforms from the Lower Cretaceous Tugulu Group (Xinjiang, China), and the phylogenetic position of Edentosuchus. – *Cretaceous Research* **25**, 1–20

RABI, M. 2005a: Alligatoroidea indet. from the Upper Cretaceous of Hungary (Csehbánya Formation). – 3rd Meeting of the EAVP, Abstract. – Kaupia 14, 93.

RABI M. 2005b: Alligatoroidea indet. és *Doratodon* cf. *carcharidens* a bakonyi felső-krétából (Csehbányai Formáció, Iharkút).

RABI, M. 2006a: Do alligatoroids really derive from North America? – *Hantkeniana Abstract Volume of the 4th Annual Meeting of the European Association of Vertebrate Palaeontologists in Budapest.* **5**, 102.

RABI M. 2006b: Honnan eredhetnek az alligátorfélék? – *Élet és Tudomány* **LXI(27)**, 848–851.

RADULESCU, C. & SAMSON, P.-M. 1986: Précisions sur les affinites des multituberculés (Mammalia) du Crétacé supérior de Roumanie. – *Comptes Rendus de la Academie de Paris* **304**, 1825–1830.

RUSSELL, D. A. 1985: A check list of the families and genera of North American dinosaurs. – *Syllogeus* **53**, 1–35.

SALISBURY, S. W. , MOLNAR, R. E., FREY, E., WILLIS, P. M. A. 2006: The origin of modern crocodyliforms: new evidence from the Cretaceous of Australia. – *Proceedings of the Royal Society* B. **3613**, 1–11.

SHINE R., HARLOW, P. S., KEOGH, J. S. & BOEADI. 1996: Commercial harvesting of giant lizards: the biology of water monitors Varanus salvator in southern Sumatra. – *Biological Conservation* **77**, 125–134.

SANDER, P. M. 1999: The microstructure of Reptilian Tooth Enamel: Terminology, Function, and Phylogeny – *Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen* (A)**38**, 1–102.

SCHWIMMER, D. R. 2002: King of the Crocodylians. The Paleobiology of *Deinosuchus*. – Bloomington & Indianapolis: Indiana University Press, 220 p.

VICKARYOUS, M. K., MARYANSKA, T. & WEISHAMPEL, D. B. 2004: Ankylosauria. – In: WEISHAMPEL, D. B., DODSON, P. & OSMÓLSKA, H. (eds): The Dinosauria, second edition. The University of California Press, Berkeley, California, 363–392.

WALKER, C. A. 1981: A new subclass of birds from the Cretaceous of South America. – *Nature*, **292**, 51–53.

WEISHAMPEL D. B., GRIGORESCU, D. & NORMAN, D. B. 1991: The dinosaurs of Transylvania. – *National Geographic Research and Exploration* **7/2**, 196–215.

WEISHAMPEL, D. B., JIANU, C. M., CSIKI, Z. & NORMAN, D. B. 2003: Osteology and phylogeny of *Zalmoxes* (n. g.), an unusual euornithopod dinosaur from the latest Cretaceous of Romania. – *Journal of Systematic Palaeontology* **1/2**, 65–123.

WELLNHOFER, P. & KELLNER, A. W. A. 1991: The skull of *Tapejara wellnhoferi* Kellner (Reptilia, Pterosauria) from the Lower Cretaceous Santana Formation of the Araripe Basin, Northeastern Brazil. – *Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Historische Geologie* **31**, 89–106.

WU, X-C. & SUES, H-D. 1996: Anatomy and phylogenetic relationships of *Chimaerasuchus paradoxus*, an unusal crocodyliform reptile from the Lower Cretaceous of Hubei, China. – *Journal of Vertebrate Palaeontology* **16/4**, 688–702.

WU, X., SUES, H-D., & SUN, A. 1995: A plant-eating crocodyliform from the Cretaceous of China. – *Nature* **376**, 678–680.

YOUNG, C. C. 1973: A new fossil crocodile from Wuerho. – *Memoirs of the Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology* **11**, 37–44. (kínai nyelven).

Kézirat beérkezett: 2006. 01. 25.

Földtani Közlöny 136/4, 527–546. (2006) Budapest

Szekvenciális gaussi szimuláció az övzátonytestek kisléptékű heterogenitásának modellezésében

Sequential Gaussian simulation in the modelling of small-scale heterogeneity of point bars

GEIGER János[1]

(17 ábra)

Tárgyszavak: övzátony, szekvenciális gaussi szimuláció, krigelés, konfidencia felület
Keywords: point bar, sequential Gaussian simulation, kriging, probability interval

Abstract

The possibility of carrying out of sequential Gaussian simulation with respect to the traditional interpretation of a sedimentary rock body has been demonstrated in the analysis of the Holocene and a Pannonian (s.l.) point bars. In this approach, the Holocene rock body served as the basis for the interpretation of the result attained for the Pannonian (s.l.) rock body.

According to the detailed variography, the lateral anisotropy of the groundwater level data coincides with the depositional strikes of the accretion surfaces of the recent point bar. On the nested variogram model the largest range may be derived from the size of the point bar, while the medium one may be worked out from the strike of the meander belt, and the smallest one reflects the small scale heterogeneity of the deposits that have built up on Holocene point bar under consideration. Due to the result of the E-type estimation of 100 stochastic realizations, a very detailed surface is evident and this is in harmony with the small-scale sedimentological characters of the sedimentary rock body.

In the case of Pannonian point bar, the channel system and the geometry of the point bar identified by well-log response analysis appear in the results of sequential Gaussian simulation of log-porosity data. The interpretation of the largest and smallest range could be done on the basis of the interpretation of the Holocene point bar. The lateral uncertainties of the map as well as the surfaces of the upper and lower limits of the probability interval of porosity were derived from 100 stochastic realizations.

Összefoglalás

A feldolgozás egyik lényeges eredménye annak megállapítása, hogy a krigelés a regionális tendenciák hangsúlyozásával nem alkalmas a kis léptékű (üledékes szöveti-szerkezeti okokra visszavezethető) heterogenitás megjelenítésére.

A szedimentológiai folyamatok olyan tulajdonságokkal jellemezhetők, amelyek a mérési hely végtelen kicsiny sugarú környezetében valószínűségi változók. Ugyanakkor – a kiterjeszthetőség értelmezése alapján – megadható (nem feltétlenül egy) olyan térben értelmezett függvény, amely ezeket a valószínűségi változókat összekapcsolja. E tény ad lehetőséget arra, hogy kiterjesztésük (térképezésük) módszertanába bekerülhessen a szekvenciális gaussi szimuláció. Ennek megoldási, értelmezési módszerét két példa szemlélteti. Az első egy recens övzátonyban a talajvízszint statikus szimulációját, a második az Algyői-delta egyik legfelső, jellegzetes deltasík kőzettestében egy pannóniai övzátony porozitás-szimulációját mutatja be.

A variográfiai előkészítés után a krigelt talajvízszint geometriai anizotrópiája jó kapcsolatot mutat a vizsgált övzátony akkréciós felületeinek csapásával. A három szerkezetből álló összetett variogramokon a legnagyobb hatástávolság az övzátony méretéből, a közepes a folyókanyarulat csapásirányából, a legkisebb pedig – valószínűleg – a talajvízszintet tartalmazó üledék(ek) szedimentológiai heterogenitásából származtatható. A szimuláció eredményeképpen a 100 realizációból szerkesztett várható érték

[1]SZTE Földtani és Őslénytani Tanszék, H-6721, Szeged, Egyetem u. 2.
E-mail: matska@geo.u-szeged.hu

típusú becslés igen részletgazdag felületet eredményezett, amely az üledéktest kisléptékű szedimentológiai jellegzetességeivel jó összhangban van.

A pannóniai (s.l.) kőzettestben a karotázs szelvényalak alapján valószínűsíthető mederrendszer és egy kapcsolódó övzátony geometriáját lehetett megjeleníteni a porozitás szekvenciális gaussi sztochasztikus szimulációjával. A folytonosság fő és mellékirányainak értelmezése a recens zátonytest tapasztalatai alapján volt lehetséges. A pannóniai (s.l.) kőzettest porozitás leképezésének területi bizonytalanságát éppúgy, mint a porozitás gridpontonkénti várható értéke felületének konfidencia felületeit a 100 sztochasztikus realizációból lehetett levezetni.

Bevezetés

A szedimentológiai vizsgálatok megfelelő értékelésének alapvető feltétele a vizsgálat léptékének tisztázása: a mikroszedimentológia „anyag-, szemcse- és szövetközpontú" elemzési ág; a makroszedimentológiát rendszerint a szedimentpetrográfiával társítják, míg a megaszedimentológia a „...az üledékes petrológia komplex módszereinek medenceméretű ...alkalmazása" (BALOGH 1991).

A fenti léptékek mindegyikéhez hozzárendelhető a tulajdonságok nagyvonalú horizontális és vertikális kiterjeszthetősége, vagyis megadható az a távolság, amelyen belül a szóban forgó jelenség minden megnyilvánulása egy korábbi állapotból következik.

A fenti meggondolásokhoz még fogadjuk el tényként, hogy bármely szedimentológiai folyamat mérési eredménye (a vizsgálat léptékétől függetlenül) valószínűségi változó is a mérési hely végtelen kicsiny sugarú környezetében. Ezt tekintsük abból következőnek, hogy bármely X tulajdonság mérése esetén és bármely A szám mellett az ($X<A$) eseményhez matematikai értelemben vett valószínűség rendelhető.

Ezeket az elvi meggondolásokat a geostatisztika nyelvén a következőképpen fogalmazhatjuk meg:

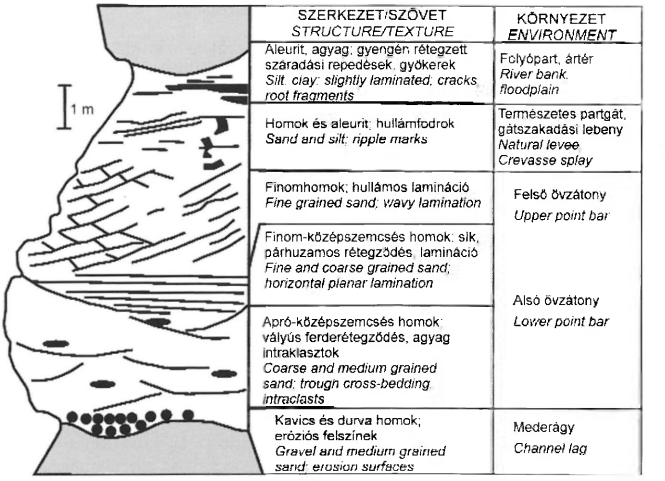
(1) Minden szedimentológiai jelenség a mintázott térfogategységtől függően három heterogenitási szinten vizsgálható: mikro-, makro- és megaléptékben.

(2) Ezen heterogenitási szintek jellemző hatástávolságának nagyságrendje (vagyis kiterjeszthetősége) a vizsgált térfogategység (geostatisztikai nyelven „support") által meghatározott.

(3) A szedimentológiai folyamatok olyan tulajdonságokkal jellemezhetők, amelyek a mérési hely végtelen kicsiny sugarú környezetében valószínűségi változók. Ugyanakkor – a kiterjeszthetőség értelmezése alapján – megadható (nem feltétlenül egy) olyan térben értelmezett függvény, amely ezeket a valószínűségi változókat összekapcsolja.

A (3) pontnak megfelelő ilyen tulajdonságokat a geostatisztika regionalizált változónak nevezi.

Nézzünk egy folyóvízi övzátonytestet. Az övzátony idealizált geológiai metszetében genetikailag négy nagy egységet különböztetnek meg: (1) a mederágy üledékei, (2) a tulajdonképpeni övzátonysorozat, (3) a természetes partgát és (4) az ártéri sorozat (*1. ábra*). Maga az övzátonytest üledékszerkezete és szövete alapján alsó és felső övzátonytestre tagolható (*1. ábra*). A Walther-féle „fácies-elv" értelmében az *1. ábrán* bemutatott függőleges heterogenitás laterálisan is befolyásolni fogja mind a szöveti, mind a kőzetfizikai tulajdonságok térbeli értékeit. Arra, hogy



1. ábra. Egy övzátony idealizált metszete (READING 1986 nyomán)
Fig. 1 Idealized cross-section of a point-bar (after READING 1986)

ez a változás mekkora léptékű lehet, az *1. ábra* genetikai egységei üledékszerkezeti tartalmának vízszintes irányú kiterjesztése adhat választ. Ez a jelenkori képződmények szedimentológiai vizsgálata alapján néhány métertől néhányszor 10 (esetleg 100) méterig terjedhet (PRYOR 1973; ALLEN 1965; MIAL 1996).

A recens övzátonyok földradarral való vizsgálata (BRUNNER et al. 2001) kimutatta, hogy bennük a laterális akkréciós felületek egyben jól azonosítható fizikai határfelületek is. Ezek a vizsgálatok olyan szöveti változásokra világítottak rá, amelyek változékonysági léptéke néhányszor 100 métertől néhány kilométerig terjedhet, az övzátony méretétől függően.

Összefoglalva: az övzátonytestekben a szedimentológiai jellegzetességek laterális változékonysága kétféle léptékben nyilvánul meg (1) néhány métertől néhányszor tíz (esetleg száz) méteres léptékben és (2) néhányszor 100 métertől néhány kilométerig terjedő léptékben. Az (1) változékonysági szint elemi egysége az üledékszerkezeti jegy nagysága, míg a (2) szint elemi egysége a medereltolódások során kialakult akkréciós felszín.

Ezzel a fenti példában adottnak tekintjük az övzátony szedimentológiai rendszerének azon két léptékét, amelyek heterogenitását elvárhatóan vissza kell adnia minden, az adott kőzettest bármely szedimentológiai jellegzetességével foglalkozó munkának.

A szekvenciális gaussi szimuláció

Vegyünk egy $z(u)$ regionalizált változót. Sztochasztikus szimulációnak nevezzük azt az eljárást, amelyben felépítjük a $z(u)$ térbeli eloszlásának alternatív, de egyenlően valószínű, nagy felbontású modelljeit (DEUTSCH & JOURNEL 1998). Az egyes – általában grid formájában adott – realizációkat sztochasztikus képeknek nevezzük. A szimulációt „feltételesnek" mondjuk, ha a realizációk megtartják az eredeti, mért adatokat minden egyes pontban (SRIVASTAVA 1994). A $z(u)$ változó lehet nominális, pl. bizonyos kőzet jelenléte vagy hiánya, vagy lehet folytonos, mint pl. talajvízszint, porozitás, szivárgási tényező stb.

A szimuláció CARR & MYERS (1985) szerint két lényeges tényben különbözik mind a krigeléstől, mind bármely interpolációs algoritmustól:

(1) A legtöbb interpolációs algoritmus célja az egyes mintázatlan $z(u)$ értékek legjobb lokális $z^*(u)$ becslését megadni tekintet nélkül a $z^*(u)$ becslések térbeli statisztikájára. A szimuláció során a lokális pontosságnál nagyobb fontosságú a létrejövő globális jellegzetesség (szövet) és a szimulált $z^l(u)$ értékek statisztikája.

(2) A helyi adatok és feltételes statisztikák adott halmazára nézve a krigelést olyan interpolációs algoritmusként használják, amely által adott egyszerű numerikus modell bizonyos lokális pontosság értelmében a legjobb. Ugyanakkor a szimuláció sok alternatív modellt kínál, amelyek mindegyike bizonyos globális értelemben a valóság „legjobb" megjelenítése. Az alternatív modellek vagy realizációk közötti különbség az együttes térbeli bizonytalanságot jeleníti meg sőt, egyben lehetőséget is ad annak mérésére.

A gaussi típusú szimulációk a bemenő (input) adatok kovariancia modelljét adják vissza az egyes realizációkban. Pontosan emiatt alkalmasak „nagy" térbeli folytonosságú tulajdonságok modellezésére (ilyen pl. a törmelékes üledékek porozitása, vagy éppen a talajvízszint).

Tekintsük nagyon nagy N-re az N db Z_i valószínűségi változó együttes eloszlását. Azaz, a bevezetőben mondottak szerint, vegyük az összes rendelkezésünkre álló adatpontban mért értéket (a geostatisztika szerint, ahány adatpont, annyi valószínűségi változó) és tekintsük ennek az N darab valószínűségi változónak az összes típusú n adat halmazára vonatkozó [jelölése $|(n)$] kondicionálását. A megfelelő N-változós feltételes eloszlásfüggvény az alábbi:

$$F_{(N)}(z_1, \ldots, z_n|(n)) = P\{Z_i \leq z_i,\ i=1, \ldots, N|(n)\}$$

A geostatisztika elvei szerint, ha a talajvízszintet regionalizált változónak tekintjük, akkor ez az egyes adatpontokban valószínűségi változó. Ebből következően az adatponti érték nem más, mint az adatpontban létező valószínűségi változó egy véletlenszerű értéke. Feltételezhető, hogy – amennyiben a vizsgált folyamat a területen homogén – az egyes adatpontok körüli eloszlás típusa megegyezik a teljes terület feletti eloszlás típusával. Ha a mért adatokra elvégzünk egy normál értékranszformációt, akkor ezt a „közös" eloszlást már meg is lehet jelölni. Mint ismert, a normál eloszlást első és második momentuma (várható értéke és szórása) teljesen meghatározza. Ezt a tényt alkalmazza a szekvenciális szimuláció az egyes gridpontok körüli eloszlások meghatározásában. A megoldás menete a követ-

kező (CARR & MYERS 1985; JOURNEL 1993; SRIVASTAVA 1994; DEUTSCH & JOURNEL 1998):

(1) Végezzük el az adatok normál érték átalakítását. Ezzel a lépéssel a vizsgált tulajdonság stacionaritását biztosítjuk az adott terület felett.

(2) Illesszünk az adatpontokra egy szabályos grid hálót.

(3) Válasszunk ki egy gridpontot és krigeléssel becsüljünk ide értéket a környező adatpontok alapján. A becslés értéke a megcélzott (grid) pontbeli becslések várható értéke lesz. Ennek stabilitását a krigelési szórás mutatja.

(4) A kiválasztott (grid) pont körül a várható érték és szórás, valamint az eloszlás normalitásának ismerete alapján megadhatjuk az ide becsülhető értékek helyi eloszlását. Természetesen ki is választhatunk egy véletlenszerű értéket ebből az eloszlásból, amelyet hozzárendelünk a becslésre kijelölt gridponthoz.

(5) Ezt a véletlenszerű értéket tegyük most a rendelkezésre álló adatpontok közé, és ezzel a kibővített adathalmazzal adjunk becslést a következő gridpontra. Itt ismét felépítjük a pont körüli valószínűség eloszlást a krigelés várható értéke és szórása alapján. Ezután, egy ebből az eloszlásból véletlenszerűen kiválasztott értékkel – amelyet a grid-pontbeli értéknek tekintünk – ismét bővítjük a rendelkezésre álló adatokat.

(6) A (3)–(6) pontok eljárásait megismételjük minden egyes gridpont számításakor. Az összes gridpont becslésének előállítása után egy kontúrozható, vagy pixelekként megjeleníthető realizációt kapunk.

(7) A gridpontok bejárási irányát megváltoztatva, majd a (3)–(6) lépéseket megismételve egy újabb realizációt kapunk.

(8) A normálértékeknek visszaalakításával az eredeti adatdimenzióban kapjuk meg az eredményeket.

A grid rendszer bejárását éppúgy, mint az eloszlásokból való választás szabályát, egy véletlenszám generátor értékétől tehetjük függővé. Ez egyben biztosítja, hogy az egyes realizációk egyenlően valószínűek lesznek.

Az eredmények értelmezése

A fentiekben vázolt algoritmus lényegében a megismerés folyamatát modellezi, hiszen minden egyes gridpont számolása a korábbi eredmények ismeretében történik. Emiatt az egyes realizációk a valóság „ilyen is lehet" megjelenítését adják. Ez a szemlélet teljesen megfelel annak a ténynek, hogy a kontúrtérkép csak a választott algoritmus rögzítése után egyértelmű (BROOKER 1979).

A realizációk sorozatának várható értéke az a legjellemzőbb térbeli eloszlás lesz, amely a kisléptékű heterogenitást a leginkább megjeleníti. Az egyes realizációk különbsége a vizsgált tulajdonság térbeli leképezhetőségének bizonytalanságát fejezi ki.

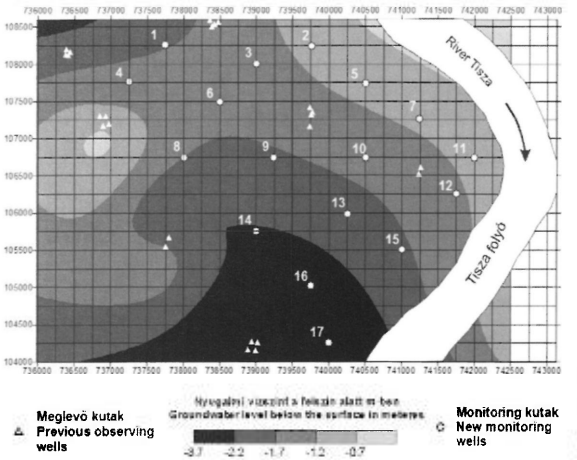
Fontos szem előtt tartani, hogy ez a bizonytalanság teljesen független attól, hogy milyen „pontos" az egyes megfigyelési pontokban a vizsgált tulajdonság meghatározása/mérése. Valójában ez a bizonytalanság attól függ, hogy a tulajdonság heterogenitásának kisléptékű változásokra képes „része" mennyire homogén az adott területen, és hogy ezt a homogenitást (vagy heterogenitást) mennyire lehet leképezni/megjeleníteni a rendelkezésre álló mérési pontok geometriai rendszerével.

A fenti meggondolásokat két példa szemlélteti. Az első egy recens övzátonyban a talajvízszint szimulációját, a második az Algyői-delta egyik legfelső jellegzetes deltasík kőzettestében, egy „fosszilis" övzátony porozitásának szimulációját mutatja be.

Recens övzátonyban a talajvízszint sztochasztikus szimulációja

A talajvíz szintjét általános esetben a hidrológiai elemek, ezen belül a csapadék mennyisége (ennek éves és sokéves eloszlása), a beszivárgás és párolgás (evaporáció, transpiráció) mértéke, továbbá a talajtani/szedimentológiai és a topográfiai viszonyok határozzák meg. Belátható, hogy e sokösszetevős rendszer elemei közül lokálisan a talajtani és szedimentológiai elemek változékonysága lehet a legnagyobb. Ugyanakkor a talajvízszint térképi felületeiben ez a heterogenitás általában nem tükröződik (GEIGER & MUCSI 2005).

A vizsgálat tárgya a Tisza Algyő és Szeged közötti nagy övzátonya (2. *ábra*). E területen ma a Mol Algyői Operatív Egységének termelő kútjai, és felszíni



2. ábra. A talajvízszint krigelt térképe az algyői övzátonyban

Fig. 2 Map of groundwater level by using kriging in a point bar of the recent Tisza river

berendezései helyezkednek el. A felszínen, a folyóvízi üledékképződés hatására, holocén homok, aleurit és agyag rakódott le. A fúrások rétegsora szerint, a felső aleuritos, homokos kőzettest alapvetően lencsés települési rendszere alatt, 4–5 méter mélységben már regionális vízzáróréteg jelenik meg (egykori ártéri képződmény), amely alatt a terület DK-i részén ismét nyomozható az alsó-holocén folyóvízi homok.

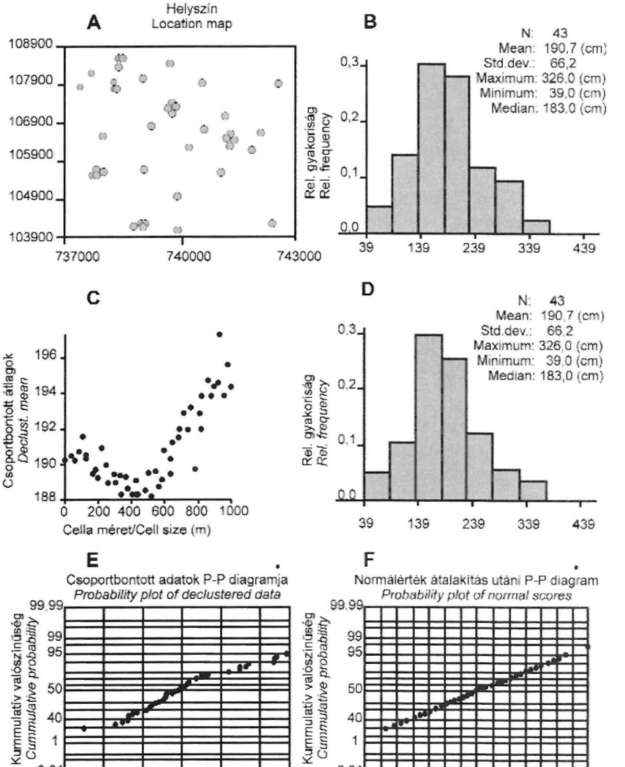
A feldolgozás első lépése az adatponti értékek területi és gyakorisági eloszlásának áttekintése (*3. ábra, A, B, D*). Ennek során két dolog azonnal szembetűnő:

(1) az adatpontok közül sokan csoportokban fordulnak elő;

(2) ezek között vannak olyan csoportok, amelyeken belül a mért értékek jelentősen különböznek egymástól (*3. ábra, A*).

Az adatok gyakorisági eloszlása ugyanakkor viszonylag szimmetrikus (*3. ábra, B*).

A kutak csoportos előfordulása olyan jelenség, amely meglehetősen gyakori minden olyan mesterséges objektum környékén, ahol a környezetvédelmi célok miatt kis távolságra történő megfigyelések és a talajvízszint rögzítése miatt nagyobb távolságra telepített kutak vegyesen fordulnak elő. Ugyanakkor a térképezés oldaláról ez olyan problémával jár, hogy a grid cellák kialakításakor a kútcsoportok



3. ábra. A talajvízszint-értékek szimulációjának előkészítése

Fig. 3 Preprocessing of Sequential Gaussian Simulation

túlzottan rávetítik értékeiket a környező adatpontokra. Emiatt a kapott kontúrok nem a valós helyzetet fogják tükrözni. Ugyancsak problémát jelent az ilyen geometria a gyakorisági hisztogram elemzésében is, hiszen ekkor a hisztogram a közeli adatpontok értékeinek hatása alatt áll. Ilyen esetben ún. csoportbontó algoritmus alkalmazása a járható út (DEUTSCH & JOURNEL 1998). Ennek során olyan elméleti rácsot illesztünk a területre, amelyben a kútcsoportok elemeikre tudnak bomlani. Eredményként olyan súlytényezőket kapunk, amelyek az egymáshoz közeli kutak esetében kis értékűek, míg a távolabbi kutak esetében viszonylag nagyok. Ezáltal biztosítható a közeli értékek „árnyékoló" hatásának elkerülése.

A csoportbontó eljárás kb. 500 m-ben jelölte meg a súlyozáshoz legalkalmasabb cellaméretet (*3. ábra, C*). A csoportbontó súlyok alkalmazásával készült gyakorisági hisztogram (*3. ábra, D*) nyilvánvalóbban mutatja a talajvízszintek modális osztályát (*3. ábra, B és D*).

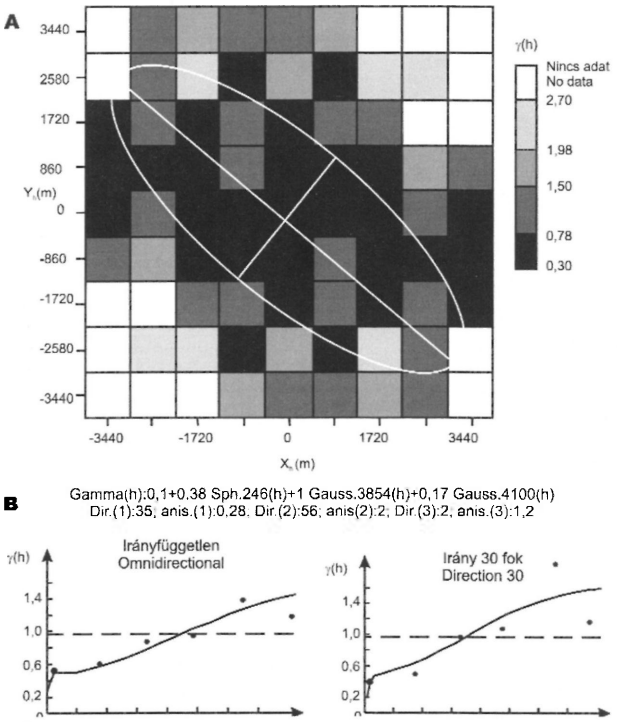
A szekvenciális gaussi szimuláció első lépése a normál érték transzformáció. A csoportbontó súlyokkal kezelt adatok eloszlása a grafikus vizsgálat szerint még mindig meglehetősen messze áll a normál eloszlástól (*3. ábra, E*). Ugyanakkor az adatponti értékek normál érték transzformációja ezt a problémát tökéletesen megoldja (*3. ábra, F*). Jól kidolgozott algoritmusok gondoskodnak arról, hogy az átalakítás transzformációs táblája alapján a standard normál eloszlásról való visszatérés nagy biztonsággal megtehető (DEUTSCH & JOURNEL 1998).

A variográfiai elemzések a talajvízszint térbeli folytonosságának és e folytonosság anizotrópiájának méreteit tárják fel. A variogram felszín (PANNATIER 1996; FÜST 1997) jelen esetben a talajvízszint térbeli folytonosságának vizuális elemzésére szolgál (*4. ábra, A*). A mért adatok variogram felszíne egy ÉNy–DK-i fő folytonossági irány mellett egy erre merőleges, láthatóan kisebb hatástávolságú ÉK–DNy folytonossági irányt mutat (*4. ábra, A*). Az ÉNy–DK irány a *2. ábra* relatív talajvízszint felületén is egyértelműen megjelenik, sőt a *2. ábra* kontúrtérképének DK-i részén az erre merőleges irány is azonosítható. Ez a jelenség valószínűleg az övzátony akkréciós növekedésével függ össze, amelynek során az egyes határfelületek a mederdomborulat mindenkori csapásával párhuzamos elhelyezkedésre törekednek (*4. ábra*).

A *4. ábra B* része a tapasztalati variogram adatokra illesztett modellt mutatja be. A modell igen bonyolult, háromkomponensű összetett modell. A komponensek közül a első kb. 250 m, a második kb. 3800 m, a harmadik kb. 4100 méter hatástávolságú. Igen valószínű, hogy a *2. ábra* talajvízszintképe ez utóbbi, nagy hatástávolságú folyamat eredményét tükrözi. Ez a hatástávolság majdnem megegyezik az övzátony hosszával, így vélhetően a zátonytestet kialakító akkréciós folyamatok hatását jeleníti meg. A második hatástávolság nagyságrendje az elsőhöz rendkívül közeli, talán a terület déli egyharmad részében DNy-ra forduló mederzátonyra gyakorolt hatásával függhet össze. Ugyanakkor a kisléptékű (kb. 250 méteres) heterogenitás már nem hidrológiai, hanem valószínűleg szedimentológiai hatásoknak tudható be.

Amennyiben ez igaz, akkor a zátonytest belső üledékföldtani heterogenitása tükröződik ebben a hatástávolságban. Ez tehát az a heterogenitási tartomány, amelyet keresünk, ha modell valóban visszaadja az alapadatok folytonossági tulajdonságait.

A *5. ábra A* része a korábban már megismert alapadat térbeli folytonosságot, a *B* része pedig a *4. ábra B* modelljéből konstruált variogram felszínt mutatja. A hasonlóság igen szembetűnő.

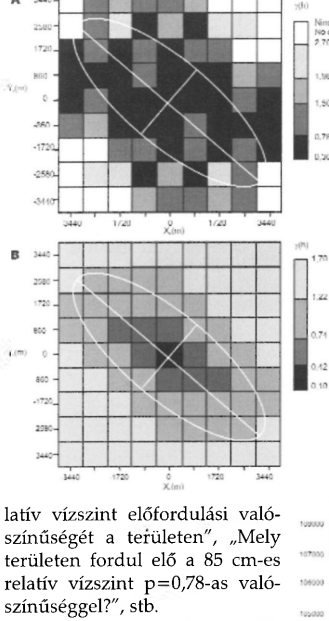


4. ábra. A talajvízszint értékek variogram felszíne (A) és a variogram modell (B)

Fig. 4 Variogram surface (A) and the corresponding variogram model (B) of the groundwater level data

Sajnos a geostatisztika az összehasonlítás egzakt elméleti kidolgozásával mindeddig még tartozik a felhasználóknak.

A korábbiakban vázolt módon a variográfiai elemzés után megtörtént a vízszintadatok szekvenciális gaussi szimulációja. Ennek keretében 100 darab, egymással egyenlően valószínű sztochasztikus realizáció készült. A szimuláció elvéből következően arra a kérdésre, hogy pontosan mekkora ez a valószínűség, természetesen nem lehet válaszolni (vagy legalábbis ebben a választott algoritmusban nem). Az alkalmazott eljárás csak azt biztosítja, hogy minden gridpontra adott becslés után, a pont körüli végtelen kicsiny sugarú környezetre felírt normál eloszlásból, a várható érték körüli fél-szórássugarú környezetből történik a gridponti érték véletlenszerű kiválasztása. Ez legalább 0,66 valószínűséget jelent. Ennél pontosabb válasz ebben az algoritmusban nem adható.



5. ábra. A tapasztalati (A) és a modell alapján (B) kapott variogram felszínek összehasonlítása

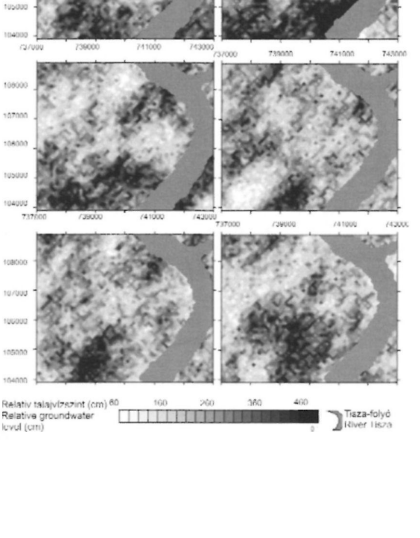
Fig. 5 Comparison of the experimental (A) and the model (B) variogram surfaces

A *6. ábra* a száz realizációból hatot jelenít meg. Mint ahogyan látható, vannak olyan területek, ahol a realizációk „alig" különböznek egymástól, míg más helyeken a különbség szembetűnő. Ez a megoldás, jellegéből adódóan, a rendelkezésre álló adatokból történő laterális kiterjesztés bizonytalanságával függ össze (JOURNEL 1993).

A számolt 100 realizáció minden egyes gridpontra száz értéket jelent. Ez már kellően sok ahhoz, hogy a terület feletti gyakorisági eloszlást megadjuk. Ebből viszont természetesen következik, hogy a szimulációs realizációk során olyan feladatokat lehet megoldani, mint: „Kontúrozzuk a 72 cm-es relatív vízszint előfordulási valószínűségét a területen", „Mely területen fordul elő a 85 cm-es relatív vízszint p=0,78-as valószínűséggel?", stb.

A *7. ábra* a talajvíz szintjére adott 100 realizáció várható értékét mutatja szembetűnő részletgazdagsággal. Ez természetesen lehetőséget ad a hidraulikus gradiens kisléptékű változékonyságának megjelenítésére is.

A *8. ábra* a hagyományos krigeléssel és a gaussi szimulációval kapott felületek különbségét mutatja be. Az ábra alapján nem szorul különösebb magyarázatra



6. ábra. A talajvízszint sztochasztikus szimulációjának hat realizációja

Fig. 6 Six realizations of the sequential Gaussian simulation

7. ábra. A talajvízszint várható érték típusú becslése a 100 realizáció alapján

Fig. 7 E-type estimation on the basis of one-hundred realizations for the groundwater level

a szimuláció előnye. A *8. ábra B* része a sztochasztikus megközelítés eredményeként igen jól értelmezhetővé, illetve prognosztizálhatóvá teszi az áramlási rendszer lokális hatását. Ennek hasznosságát a dinamikus szimulációban, a szénhidrogén tárolók háromfázisú dinamikus modellezése már bizonyította (GEIGER & KOMLÓSI 1996). Ezek a tapasztalatok rámutattak arra, hogy az ilyen részletgazdag felületek, ha nem is teszik problémamentessé a dinamikus szimulációt, ám annak hatékonyságát megsokszorozzák.

8. ábra. A krigelés (A) és a gaussi szimuláció (B) eredményének összehasonlítása

Fig. 8 Comparison of the kriged (A) and simulated (B) maps

Pannóniai (s.l.) övzátonyban a kutankénti átlagos (effektív) porozitás sztochasztikus szimulációja

A Tisza–2 telep kőzetteste az algyői mező felső-pannóniai rétegsorában (Algyői-delta) legfelül helyezkedik el. Geológiájával foglalkozó korábbi tanulmányok szerint „litológiai záródással kombinált álboltozatos csapdázódás" jellemzi. Területileg az algyői mező DK-i részén, a Marostól északra található. A kőzettest azon kevés algyői telepek egyike, amelyekből nem sok magvizsgálat készült. A furadékleírások, egy fúrás meglehetősen hiányos kihozatalú maganyaga és a karotázsszelvények alapján az alábbi kőzettani kép vélhető igaznak.

A finom-, apró- helyenként középszemű homokkövek legkedvezőbb tároló tulajdonságú kifejlődései a kőzettest DK-i részén találhatók, ahol vastagságuk eléri a 10–15 métert is. Itt az agyagmárga–agyagkő betelepülések gyakorisága kicsi. Egyéb részeken a homokbetelepülések száma és vastagsága kisebb, helyüket, finom és durva aleurolit, esetleg agyagmárga veszi át.

A magfúrásból megismert homokkövek jellegzetesen finom- és aprószeműek, közepesen osztályozottak. Üledékszerkezeti jegyeik közül jellegzetesek a nagyvastagságú vályús keresztrétegződésű sorozatok. Ezek a rétegsor alsó részén kifejlődött nagyobb vastagságú homokkövek sajátosságai.

Ez a rétegződési forma – különösen nagy sorozat vastagságban – a folyóvízi üledékképződés jellemzője (ALLEN 1965). Ugyancsak jellegzetes – és a folyóvízi felhalmozódásra jellemző – jegyek az „S" alakú réteglemezek vályús sorozatban. A szenes agyagtörmelék mellett, a muszkovitcsillámos lemezek nagy száma szintén jellemzően folyóvízi felhalmozódásra utal. Ugyancsak jellegzetesek a limonitkonkréciós foltok amelyek homokövekben és aleurolitokban is megjelennek. A függőlegesen elhelyezkedő növénymaradványok, szenes agyagrétegek a folyóvíz mocsári fáciesének jellegzetességei.

A karotázs szelvényalakok közül három fő típust lehetett megkülönböztetni (*9. ábra*). A „hordó alak" (*9. ábra, A*) a lényegében függőlegesen alig változó homokkősorozatot jellemzi. A viszonylag éles fekü és fedő megjelenés a homokos üledékképződés gyors megjelenését és megszűnését jelenti (SERRA 1985; SELLY 1985, 1998). Irodalmi tapasztalatok szerint olyan homoktestek ezek, amelyek származhatnak a folyóvízi homokos mederkifejlődések laterális vándorlásából (JUHÁSZ et al 2004; CHOW et al. 2005), de megjelenhetnek zátonytestek laterális növekedése folytán is (akkréciós felszínek, SELLY 1985, 1998).

A második típust a felfelé durvuló (azaz „progradáló") rétegsornak megfelelő tölcsér alak (*9. ábra, B*) képviseli. Az ilyen sorozatok a torkolati zátonyokat és a folyóvízi környezetek gátszakadási üledéksorát jellemzik (SELLY 1998; CHOW et al. 2005).

A harmadik jellegzetes változat SP és TG szelvénye felfelé finomodó, harang alakú sorozatot mutat (*9. ábra, C*). Ez a karotázs alak a folyóvízi (meder) kifejlődésekhez kapcsolható.

A zátonytestek esetében a torkolati zátonyok laterális növekedése egy alulról felfelé durvuló sorozat megjelenése után történik, míg az övzátonyok esetében eróziós alapra (azaz gyorsan „kitérő" SP és TG szelvényre) azonnal következik a homogén függőleges sorozat. A *9. ábra* térképe meggyőzően mutatja, hogy a vizs-

gált kőzettestben részben ez utóbbi kifejlődés látható a terület DK-i részében. Tovább elemezve az ábrát szembetűnő, hogy a jellegzetes mederkifejlődések (alulról felfelé finomodó sorozat), valamint az alulról felfelé durvuló vélhetően kisebb gátszakadási lebenyek, jellemzően sávokba rendeződnek (*9. ábra*). Ezek azok a területek, amelyek függőleges kifejlődése 2–3 ilyen alulról felfelé finomodó, vagy éppen durvuló egységből áll. Itt a homokkövek szerepe alárendeltebb, az aleurolit-agyagmárga-agyagkő betelepülések száma és vastagsága nagyobb, mint a „lepelhomok" kifejlődések területén.

A felépítésből következik, hogy a homokkövek itt vélhetően nagyobb agyag-aleurit frakciót tartalmaznak, mint a „lepelhomokos" kifejlődések. A fentiekben kifejtett tények és az áttekintett „elektro-fácies" térbeli eloszlása szinte sugallja azt a következtetést, hogy a tárolótér meghatározó, nagy DK-i „foltja", a vele érintkező meder domború kanyarulatában kialakult övzátonyok laterális migrációjának eredménye (*9. ábra*).

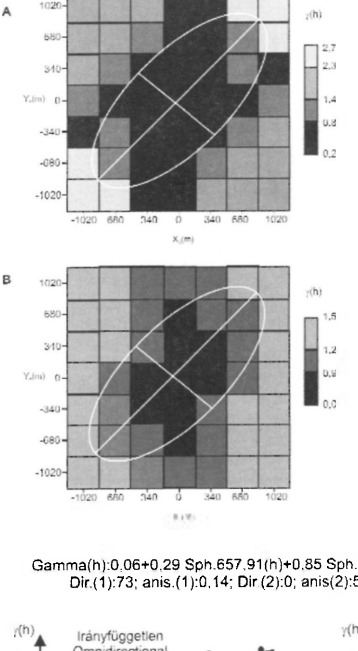
9. ábra. A felső-pannóniai (s.l.) kőzettest kifejlődése a karotázs szelvények alapján

Fig. 9 Characteristics of the Upper Pannonian (s.l.) rock body on the basis of well-log response analyses

Maga a modell természetesen nagyvonalú, ami azt jelenti, hogy a vizsgált kőzettest teljes vastagságára, mint egységre igaz. A területi lehatárolás miatt nem lehet megadni a „medrek" folytatását a vizsgált területen túl.

A közölt modell helytállóságának egyik kritériuma, hogy vajon a kőzettestre átlagolt kőzetfizikai tulajdonságok területi eloszlásában mennyire tükröződik a *9. ábra* rendszere. Mivel a szelvényalakok a kőzettest teljes vastagságára vonatkoztak, emiatt a porozitás-átlagoknak is a teljes értelmezett vastagságra vonatkozónak kell lenniük. (Vagyis az agyagkő, agyagmárga, aleurolit sorozatok is beletartoznak az átlagba.) Ezentúl kívánatos, hogy olyan modell épüljön az így számolt átlagos porozitásra, amely számba tud venni sok egyenlően valószínű geometriai elrendeződést is.

A kutankénti átlagos porozitásadatok variogram felszíne alapján a fő folytonossági irány ÉÉK–DDNy-i csapású (*10. ábra, A*). Ám a variogram felszínen nemcsak az erre merőleges, hanem egy É–D-i csapású alárendelt folytonossági irány is jól felismerhető (*10. ábra, A*). A kutankénti átlagos porozitásértékek félvariogramjaira meglehetősen bonyolult, három szerkezeti elemet tartalmazó összetett félvariogram modellt lehetett illeszteni (*11. ábra*). A korábban ismertetett recens övzátony analógiája kapcsán vélhető, hogy a modell legnagyobb hatástávolsága (kb. 1400 m) az



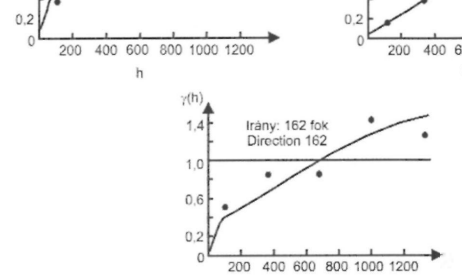
10. ábra. A tapasztalati és a modell alapján kapott variogram felszínek összehasonlítása

Fig. 10 Comparison of the experimental and the model variogram surfaces

övzátony méretével, míg a másik két szerkezethez tartozó (kb. 740 m és 680 m) hatástávolság az akkréciós felszínekkel hozható összefüggésbe. A modellből számolható variogramfelszín igen jó egyezést mutat az eredeti adatokéval (*10. ábra, B*).

Ez a heterogenitási modell képezte alapját a kutankénti átlagos porozitás „klasszikus" krigelt térképének. Ez a szedimentológiai meggondolásokat csak nagyon nagy vonalakban tükrözi (*12. ábra*), jóllehet a homokkő diagenetikus litifikációs állapotában – amely a vizsgált kőzettestnek is sajátja – a porozitás alapvetően még mindig a felhalmozódási folyamatok által meghatározott (FÜCHTBAUER 1983). A *12. ábra* porozitástérképének délkeleti részén jól

Gamma(h):0.06+0.29 Sph.657.91(h)+0.85 Sph.1400(h)+0.37 Gauss.1357.91(h)
Dir.(1):73; anis.(1):0.14; Dir.(2):0; anis(2):5.7; Dir.(3):124; anis.(3):8.3

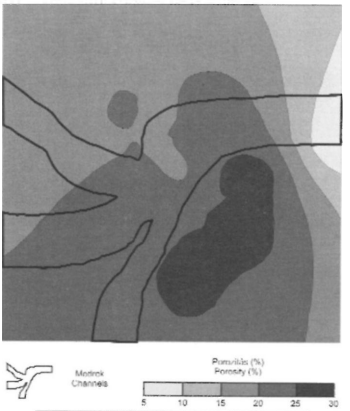


11. ábra. A porozitásértékek variogramfelszíne és a variogram modell

Fig. 11 The variogram surface and the variogram model of porosity values

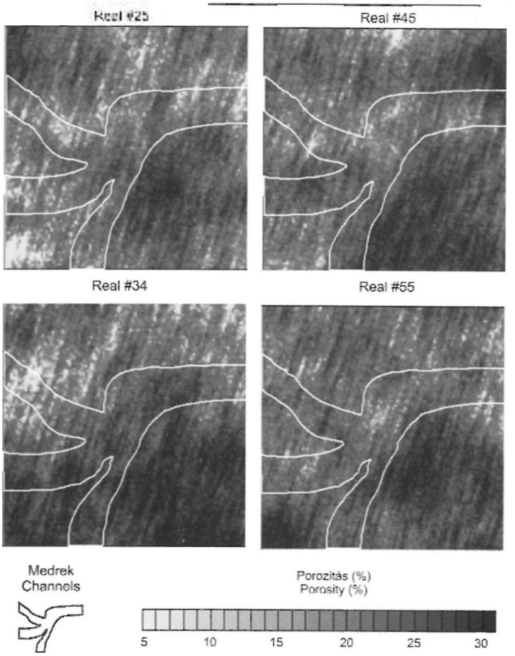
12. ábra. A kutankénti átlagos porozitás krigelt térképe

Fig. 12 The kriged map of the average porosity



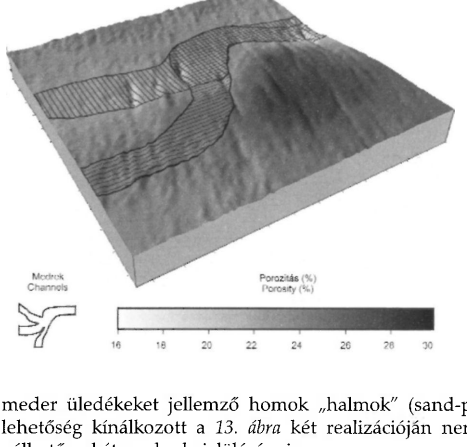
azonosítható egy ÉK–DNy irányban húzódó nagy porozitású kifejlődés, amely egy övzátony domború üledékes testének meghatározó csapását tartalmazza. A részletek hiánya itt is azt mutatja, hogy a krigelés a nagyvonalú üledékes trendet fejezi ki.

A részletek feltárására a heterogenitási modell alapján szekvenciális gaussi szimuláció készült. A szimuláció 100 azonosan valószínű realizációt tartalmazott. Ezek közül négyet mutat be a *13. ábra.* A folyóvízi környezetekben a



13. ábra. A kutankénti átlagos porozitás szekvenciális gaussi szimulációjának négy realizációja

Fig. 13 Four realizations of SGS of average porosity



14. ábra. A porozitás várható érték típusú becslése a 100 realizáció alapján. (A különböző medreket eltérő grafikus jelek mutatják.)

Fig. 14 E-type estimation on the basis of one-hundred realizations for the porosity. (The different channels are signed by different graphic symbols.)

meder üledékeket jellemző homok „halmok" (sand-ponds, PRYOR 1973) alapján lehetőség kínálkozott a *13. ábra* két realizációján nemcsak az övzátony, hanem vélhetően két meder bejelölésére is.

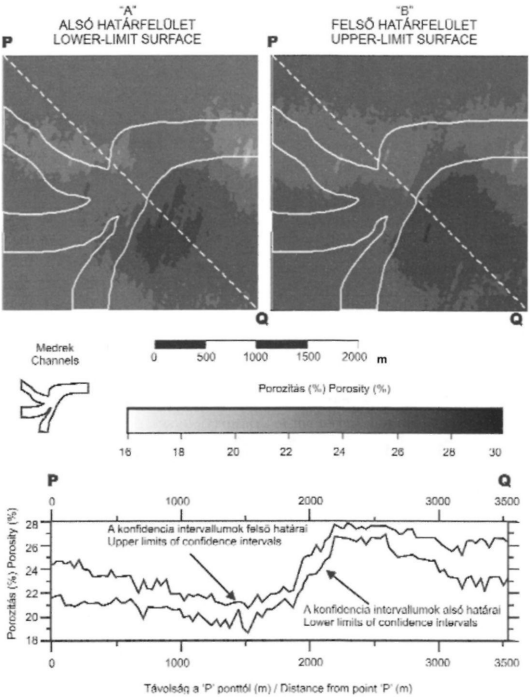
A száz realizációból számolt várható érték típusú becslés eredménye már igen részletgazdag porozitásképet mutat (*14. ábra*). A térképen a zátonytest alakja, a kapcsolódó meder/medrek geometriája egyértelműen kirajzolódik.

Diszkusszió: krigelés vagy szimuláció

A krigelés – bár az egyik legjobb hibavarancia csökkentő eljárás – jellegzetes „low-pass" (alacsony frekvenciájú) szűrő. Ebből következően sokkal inkább a nagyléptékű folytonosság megjelenítésére alkalmas (*1. ábra*). Ezzel szemben a sztochasztikus szimulációk – noha a variográfián keresztül a teljes „spektrumú" változékonyságot tartalmazzák – mégis elsősorban a kis(ebb) léptékű heterogenitás által meghatározottak (*13, 14. ábra*).

Ha valamely tulajdonság megítélésében fontosabb a szélsőségek területi kapcsolatának tisztázása, mintsem a nagyvonalú trendek megjelenítése, akkor mindenképpen a sztochasztikus szimulácók valamelyike mellett célszerű dönteni.

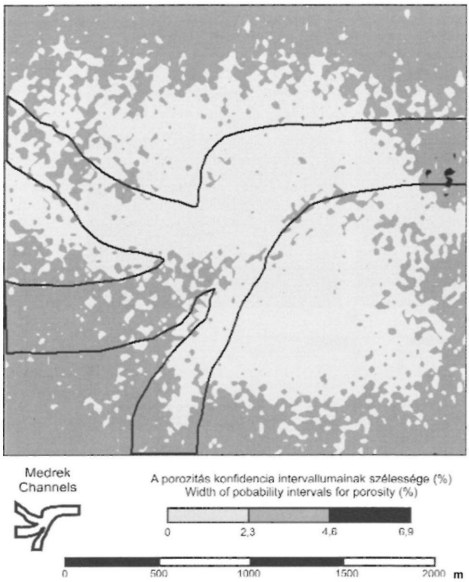
Az „egyváltozós" matematikai statisztikában teljesen természetes a konfidencia intervallum megadása a várható érték becslésekor (a konfidencia intervallum a várható értéket adott valószínűséggel tartalmazó intervallum). Amennyiben azt mondjuk, hogy a területi becslés gridpontonként az adott pontba prognosztizálható várható értéket adja, nem ilyen természetes igény a pontonkénti várható érték konfidencia felületének megadása? A válasz természetesen igen, mivel a konfidencia felületek szerepe kiemelkedő lehet a biztonsági értékelésekben. A krigelés az ilyen felületek megadására konstrukciója miatt nem alkalmas, ámde a sztochasztikus realizációk alkalmazásával (DEUTSCH & JOURNEL 1998) ez a két felület gond nélkül számolható (*15. ábra*).



15. ábra. A gridpontonkénti konfidencia intervallumok alsó és felső határainak felületei

Fig. 15 The surfaces of the lower and upper borders of probability limits belonging to the different grid points

A *15. ábra* két konfidencia felületén, a „P" és „Q" pontok között készült metszetet látható ugyanezen ábra alsó részén. A metszet meggyőzően mutatja, hogy valóban a gridpontokkénti konfidencia intervallumok bal (*15. ábra, A*) illetve jobb végpontjaira (*15. ábra, B*) illesztett felületet lehetett előállítani. Most célszerű meggondolnunk a következőket: egy tetszőleges minta esetében minél kisebb bizonytalanságú (stabilabb) a várható érték becslése, annál szűkebb a várható érték körüli konfidencia intervallum. A *16. ábra* a gridpontonkénti várható értéket (p=0,05 tévedési valószínűséggel) lefedő konfidencia intervallumok szélességének térképét mutatja. A korábbi meggondolás szerint minél szűkebb ez az intervallum, annál kisebb bizonytalanságú a porozitás becslés. A *16. ábra* alapján tehát a kis bizonytalanságú (a szélesség 0–2,3 közötti), közepes bizonytalanságú (2,3–4,6 közötti



16. ábra. A grid pontonkénti konfidencia intervallumok szélessége

Fig. 16 The width of the probability limits

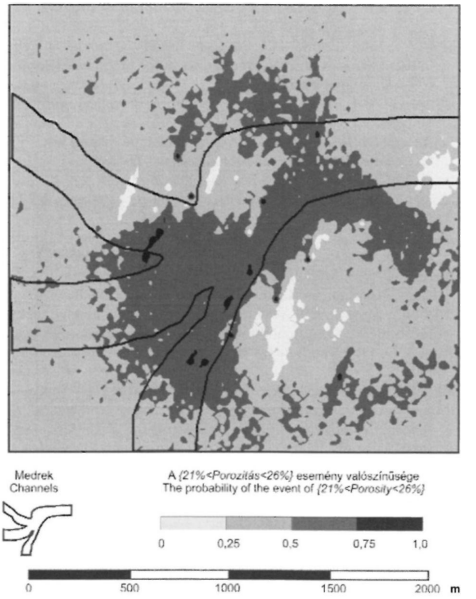
szélesség) és nagy bizonytalanságú (4,6–6,9 közötti szélesség) területeket lehetett kijelölni. Az övzátonytest porozitás megítélése ennek alapján kis bizonytalanságú. Hasonló állítható a tőle É-ra húzódó mederrendszerre is. Ezzel szemben a Ny–K-i üledékes csapású meder kőzetfizikai megítélése lényegesen nagyobb bizonytalanságú.

Nem szükséges hangsúlyozni, hogy képződmények biztonsági értékelésében mekkora súlya lehet az ilyen megközelítéseknek.

Másik lényeges eredménye a szekvenciális sztochasztikus szimulációnak a „Mekkora a valószínűsége, a (Porozitás</>X%) esemény bekövetkezésének az adott terület egyes pontjaiban?" típusú kérdés megválaszolhatósága (DEUTSCH & JOURNEL 1998). Ennek lehetőségét is az a tény biztosítja, hogy a szimuláció során minden gridpont körül nagyon sok – azonosan valószínű – becsült értéket kapunk (a választott övzátony példában gridpontonként 100 értéket). Vagyis nem okoz semmi problémát a vizsgált tulajdonság (itt a porozitás) valószínűségeloszlását minden egyes gridpontban megadni. Innen már egyesen út vezet a feltett kérdés megválaszolásához. A *17. ábra* például annak valószínűségét mutatja, hogy a porozitás a gridpontokban 21 és 26% közötti. Itt tehát egy intervallum típusú becslésről van szó, amely minden olyan esetben alkalmazható, amikor a vizsgált tulajdonság mérése önmagában nagy bizonytalansággal terhelt.

17. *ábra.* A (21%<porozitás<26%) esemény valószínűsége

Fig. 17 The probability of the event of (21%<porosity<26%)



Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönettel tartozik a Mol Rt-nek a közlés engedélyezéséért, valamint a fúrási dokumentációba való betekintés lehetőségéért.

Külön köszönet illeti a dolgozat lektorait, KOVÁCS Józsefet és UNGER Zoltánt, azokért az értékes megjegyzésekért, kritikai észrevételekért, amelyek átgondolásával talán „közérthetőbbé" vált a tanulmány.

Jelen munka a „Folyóvízi övzátony testek mikro és makroléptékű 3D szedimentológiai modellezése" című, T 043318 számon nyilvántartott OTKA pályázat támogatásával készült.

Irodalom – References

ALLEN, J. R. L. 1965: A review of the origin and the characteristics of recent alluvial sediments. – *Sedimentology* **5**, 89–191.

BALOGH K. (szerk.) 1991: Szedimentológia I. – Akadémiai Kiadó. Budapest, 157–159.

BROOKER, P. 1979: Kriging. – *Engineering and Mining Journal* **1980/9**, 148–153.

BRUNNER, D. S., ENDRES, A. L. & SUDICKY, E. A. 2001: Detiled ground-penetrating radar survey of a point-bar, Whiteman's Creek, Ontario for use in a new fully-integrated 3D surface/subsurface flow model. – Geological Society of America Annual Meeting, November 5–8, 2001, Boston, Massachusetts.

CARR, J. R. & MYERS, D. E. 1985: COSIM: A Fortran IV program for Conditional Simulations. – *Computer and Geosciences* **11**, 675–705.

CHOW, J. J., MING-CHUNG, L. & SHI-CHIE, F. 2005: Geophysical Well Log Study on the Paleoenvironment of the Hydrocarbon Producing Zones in the Erchungchi Formation, Hsinyin, SW Taiwan – *TAO* **16/3**, 531–545. August 2005

DEUTSCH, C. V. & JOURNEL, A. 1998: GSLIB. Geostatistical Software Library and User's Guide. – Oxford University Press, New York, 369 p.

FÜCHTBAUER, H. 1983: Facies control on sandstone diagenesis. – In: PARDER, A. & SELWOOD, B. W. (eds): Sandstone Diagenesis, Reider Publishing, 269–288.

FÜST A. 1997: Geostatisztika. – Eötvös Kiadó, Budapest, 427 p.

GEIGER J. & KOMLÓSI J. 1996: Szedimentológiai geomatematikai 3-D modellező rendszer törmelékes CH-tárolókban. – *Kőolaj és Földgáz* **1996/2**, 53–81.

GEIGER J., & MUCSI L. 2005: A szekvenciális sztochasztikus szimuláció előnyei a talajvízszint kisléptékű heterogenitásának térképezésében. – *Hidrológiai Közlöny* **85/2**, 37–47.

JOURNEL, A. 1993: Modeling uncertainty: Some conceptual thoughts. – In: DIMITRAKOPOULOS, R. (ed.): Geostatistics for the Next Century. Kluwer, Dordrecht, 30–43.

JUHÁSZ, Gy. MÜLLER, P. & TÓTH-MAKK, Á. 2004: Alluvial Architecture and Fluvial Cycles in Quaternary Deposits in a Continental Interior Basin, E Hungary – *Geologica Croatica* **57/2**, 171–190.

MIALL, A. D. 1996: The Geology of Fluvial Deposits.– Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 582 p.

PANNATIER, Y. 1996: VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D – Springer, New York, p. 91.

PRYOR, W. A. 1973: Permeability–porosity patterns and variations in some Holocene sand bodies. – *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* **57**, 162–189.

READING, H. G. (ed.) 1986: Sedimentary Environments and Facieses: Second Edition – Blackwell Science, 615 p.

SELLEY, R. C. 1985: Elements of petroleum geology. – W. H. Freeman and company, New York, 448 p.

SELLEY, R. C. 1998: Elements of petroleum geology. – Department of Geology, Imperial College, London United Kingdom, 37–145.

SERRA, O. 1985: Sedimentary Environments from Wireline Logs.– Schlumberger, Montrouge, 211 p.

SRIVASTAVA, R. M. 1994: An Overview of Stochastic Methods for reservoir Characterization. – In: YARUS,. J. M. & CHAMBERS, R. (eds) 1994: Staochastic Modeling and Geostatistics. Principles, Methods, and Case Studies. – *AAPG Computer Applications in Geology* **3**, 3–19.

Kézirat beérkezett: 2006. 01. 11.

Földtani Közlöny 136/4, 547–572. (2006) Budapest

Ülepedő és szálló por ásványtani vizsgálata a romániai Kolozs megyéből

Mineralogical investigation of settled and airborne dust collected from Cluj County, Romania

FARKAS Izabella Melinda[1] – WEISZBURG Tamás[1]

(9 ábra, 2 táblázat)

Tárgyszavak: szálló por, ülepedő por, Kolozs megye, szemcseeloszlás, röntgen pordiffrakció, SEM+EDX
Keywords: airborne dust, settled dust, Cluj County, Romania, particle size distribution, powder XRD, SEM+EDX

Abstract

Solid contaminants get into the air as dust, varying widely both in composition and size distribution. Dusts are classified into two groups on the basis of grain size: airborne dust (< 10 μm) and settled dust (> 10 μm) (Fig. 1). Dust can be of natural or anthropogeneous origin. Natural dust originate from soil erosion, forest fires, biogenic materials, sea salts above the sea surface, and volcanic eruptions. Anthropogeneous dust arise mainly from industrial activity and transportation.

Phase (mineral) composition and size distribution of dust (Fig. 2) make it possible to establish the effect that dust have on the environment and health.

In Romania, county-level environmental agencies collect settled dust samples monthly. The collected samples are then weighted. Settled dust samples were collected and studied from 18 localities (Fig. 3) in the period March–July 2003 by the Environmental Protection Agency of Cluj County. Our main aim was to determine the phase (mineral) composition of these dust samples.

The collected samples were separated on the basis of grain size fractions >400 μm, 400–250 μm, 250–125 μm, 125–63 μm, 63–32 μm, 32–1 μm and <1 μm. (The first six fractions were obtained by wet sieving, while the last one by settling.) Grain size distributions were then considered. Fractions above 63 μm were examined using studied by light microscopy. Routine powder X-ray measurements have been carried out on the samples, while the respective characteristics most typical grains were studied with scanning electron microscopy (SEM equipped with EDX).

Minerals of the settled dust originate predominantly from soil erosion, accompanied by industrial contaminants (Fig. 4, Tables 1–2). There is a strong correlation between grain size and composition: the proportion of mineral constituents increases with decreasing grain size.

Among the identified constituents, the following are of natural origin: quartz, calcite (Fig. 5C), feldspar, dolomite, mica, chlorite, anhydrite (?), goethite, kaolinite-group minerals, amphibole group, rutile (Fig. 5B), kyanite, asbestos (Figs 5A and 9), ilmenite (Fig. 5D), halite and the biogenic materials like insects and plant fragments. Of anthropogenic origin are the silicon-carbide, corundum, cristobalite, tridymite, spinel-structure compounds (?) and plastic materials. On the X-ray powder diffraction patterns micas and kaolinite-group minerals occur mainly in the lower grain size fractions (63–1 μm, 63–32 μm). Cristobalite was present in large amounts in some of the samples (Figs. 6 and 7). This material may eventually get enriched in the respirable fraction, too, (Figs. 6B and 7), carrying an increased health risk. Tridymite is subordinate relative to cristobalite, and occurs only in samples that contain silicon-carbide as well.

In salt-rich samples the salt may well originate from a surface-exposed salt dome. However, contamination from the winter salt treatment of the roads cannot be excluded either. In the settlement of

[1]ELTE TTK, Ásványtani Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C,
e-mail: farkasizabella@yahoo.com

Turda, large amounts of calcite originate from local outcrops of limestone. However, the nearby cement factory, which uses limestone as the base material for cement production, should also be taken into consideration.

The composition of asbestos is transitional between that of serpentine and amphibole (Fig. 9).

Összefoglalás

Munkánkban a Kolozs megyei Környezetvédelmi Hivatal által 2003 márciusa és júniusa között, 18 mintavételi helyről begyűjtött leülepedett pormintákat dolgoztuk fel, ezek ásványtani összetételét vizsgáltuk.

A kapott mintákat szemcseméret szerint szeparáltuk. Hét szemcseméret-kategóriát különítettünk el, ezek: >400 μm, 400–250 μm, 250–125 μm, 125–63 μm, 63–32 μm, 32–1 μm és <1 μm (az első hatot nedves szitálással, az utolsót ülepítéssel nyertünk). Vizsgáltuk a szemcseméret szerinti eloszlásokat is. A 63 μm fölötti szemcséket sztereomikroszkóppal elemeztük. A mintákról rutin röntgen pordiffrakciós felvételek, a jellegzetesebb szemcsékről röntgen spektrométerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok készültek.

Eredményeink szerint, a levegő ülepedő ásványai nagyrészt a talaj eróziójából származnak. Ehhez adódnak hozzá az ipari szennyeződések. Összefüggés figyelhető meg a szemcseméret és az összetétel között, a szemcseméret csökkenésével nő az ásványos összetevők aránya. Az azonosított összetevők közül természetes eredetűek a kvarc, kalcit, földpát, dolomit, csillám, klorit, anhidrit (?), goethit, kaolinit csoport, amfibol csoport, rutil, kianit, azbeszt és természetesen a biogén eredetű anyagok. Antropogén eredetűek a szilícium-karbid, korund, cristobalit, tridimit, spinell típusú vegyületek, műanyagok. A röntgen pordiffrakciós felvételeken főképp a finomabb frakciókban (63–1 μm, 63–32 μm) jelentkeznek a csillám-félék és a kaolinit csoport. Az egészségre különösen káros lehet a cristobalit feldúsulása a belélegezhető frakciókban. A kősó és kalcit feldúsulása földtani és antopogén okokkal is magyarázható. Az észlelt azbeszt elemi összetétele a szerpentin és az amfibol közé esik.

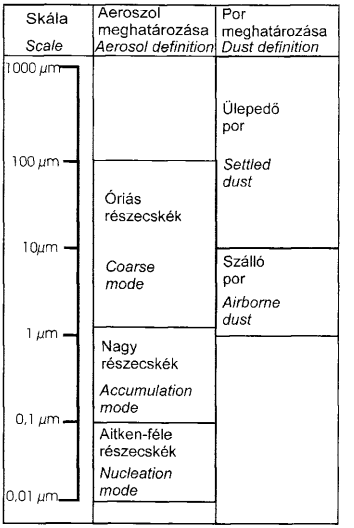
Bevezetés

Az ülepedő porok, bár légkörkémiai szempontból nem igazán fontosak, hiszen a forráshoz közel leülepednek, egészségügyi szempontból azonban nagyon lényegesek. Környezetásványtani vizsgálatuk fontos, mivel e porok ásványos összetétele és méreteloszlása határozza meg a környezetre és egészségre gyakorolt hatásukat. A levegőben lebegő porszemcsék sokszor felerősítik más szennyezőanyagok hatását azáltal, hogy felületükön adszorpcióval megkötik azokat. Az egyedi porszemcsék kémiai összetétele és a méret között erős korreláció mutatható ki (GRANTZ et al. 2003). A finom frakciók felületükkel, míg a durva frakciók tömegükkel uralják az atmoszférát. A két típusú frakcióra eltérő módon hatnak a légnedvesség változásai, a csapadékviszonyok, a szél változásai valamint a besugárzás mértéke (GRANTZ et al. 2003, VÄKEVÄ et al. 1999).

A szilárd anyagok különféle összetételű és szemcseméretű por formájában kerülnek a levegőbe. Anticiklon esetén, a városok felett szemmel látható porkupola alakul ki. Ennek fő alkotóelemei a szilárd szennyezőanyagok (MĂNESCU et al. 1994), vagyis a szálló és ülepedő por (*1. ábra*; ezekről részletesen lásd a függeléket). A porkupola alatti területeken a légrétegek átkeveredése csökken és így minden légszennyező anyag nagyobb mennyiségben halmozódik fel. Munkánkban az ülepedő és részben a szálló por ásványos összetételét vizsgáljuk. Az ásványtani információk birtokában azonosíthatók a fő szennyező fázisok, valamint az egészségügy is felhasználhatja az adatokat.

A mintavételi helyek döntő többségben ugyan ipari övezetekben helyezkednek el, de általában lakóövezetek is vannak a közelükben.

Az ülepedő porok származhatnak természetes és antropogén forrásokból. Néha nehéz különbséget tenni a természetes és antropogén eredetű por között (MORENO et al. 2004). A természetes eredetűek a talaj eróziójából, erdőtüzekből, biogén anyagokból, a tengerek fölött tengeri sóból, valamint vulkánok kitöréseiből származhatnak. A műholdfelvételeken a porfelhőknek gyakran jól körülhatárolható geometriájuk van, melyet a topográfiai jellegzetességek határoznak meg (PROSPERO 1999). Az antropogén ülepedő porok főleg az ipari tevékenységből és a szállításból származnak. Ezek fontosak, mert a keletkezés helyén nagy koncentrációt is elérhetnek a szilárd szennyezők. Gyakorlatilag minden ipari tevékenység porképződéssel jár. E porok gyakran károsak, sőt mérgező anyagokat, nehézfémeket is tartalmaznak. Ugyanakkor a szállítás is nagymennyiségű port juttat a levegőbe. A közúti közlekedés károsanyag-kibocsátása miatt a nagyforgalmú utak mentén megemelkedik az ólom, cink, nikkel, réz, platina mennyisége.



1. ábra. Az aeroszolok és porok méreteinek definíció szerinti összehasonlítása (részleteket a függelék tartalmazza)

Fig. 1. Comparison between aerosol and dust size distribution (for details see the Appendix and it's references)

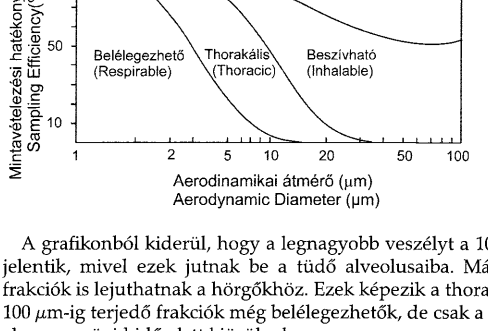
A Kolozs megyei Környezetvédelmi Ügynökség 30 naponként ülepedő pormintákat gyűjt a megye városainak különböző területeiről, főképp az ipari területekről. A mintákat általában 1–2 m magasan elhelyezett műanyagedényekben gyűjtik, melyekben 150–200 ml desztillált vizet töltenek. Télen, a befagyás megelőzésére 25-30%-os alkoholos oldatot használnak a desztillált víz helyett (MĂNESCU et al. 1994). A begyűjtésnél 2 mm-es szűrőn átszűrik a desztillált vízbe leülepedett porszemcséket ezáltal megakadályozva a nagyobb rovarmaradványok és levéltöredékek bekerülését a végső tömegbe. A kapott mintákat laboratóriumban először gőzfürdőn párologtatják, majd ezután 2 órán át szárítószekrényben, 105 °C-on szárítják. ½–1 óra exszikkátorban való hűlés után a tömegeket analitikai mérlegen lemérik.

Ezen minták anyagi összetételét a romániai környezetvédelmi ügynökségek nem vizsgálják. Ilyen, vagy hasonló módszerekkel gyűjtött ülepedő por ásványtani vizsgálatáról más országokból sincs adatunk. Irodalmi adatok vannak ugyan olyan vizsgálatokról Amerikában, ahol a munkahelyi környezetben, valamint belterekben található por összetételét elemzik (OSHA 1994), ám ezeknek a mintavételezése eltérő attól, amit e munkában bemutatunk[1].

A por egészségre gyakorolt hatásai

A levegőben megtalálható részecskék a belégzés során különböző távolságokra jutnak el a légutakban. Egy részük lerakódik, más részük pedig kiürül a szervezetből a kilégzés során. A károsodás mértékét a lerakódás helye, a lerakódott szemcsék mennyisége illetve toxicitása szabja meg.

Az hogy a részecske meddig jut el a légzőszervrendszerben, függ attól, hogy mekkora az aerodinamikai átmérője. A munkavédelmi előírásokat tartalmazó EN 481:1993 Európa-szabvány az összes létező porszemcseátmérő függvényében százalékosan definiálja a beszívható (inhalable), thorakális (thoracic) és az alveoláris (respirable) belélegezhető részecskefrakciókat (2. *ábra*; EUR 20268 EN 2002).



2. *ábra.* Az EN 481:1993 szabvány szerinti részecskefrakciókra vonatkozó konvenciók

Fig. 2. Particle size definitions according to the norm EN 481:1993

A grafikonból kiderül, hogy a legnagyobb veszélyt a 10 μm-nél kisebb szemcsék jelentik, mivel ezek jutnak be a tüdő alveolusaiba. Már a 30–32 μm-nél kisebb frakciók is lejuthatnak a hörgőkhöz. Ezek képezik a thorakális frakciót. A 30 μm-től 100 μm-ig terjedő frakciók még belélegezhetők, de csak a felső légutakba jutnak be, ahonnan rövid idő alatt kiürülnek.

A SiO_2 változatokra vonatkozó kutatások azt mutatják, hogy a tridimit és a cristobalit belélegzése sokkal ártalmasabb, mint a kvarcé, míg az amorf SiO_2 változatoknak gyakorlatilag nincs káros hatásuk (HEANEY & BANFIELD 1993). Súlyos egészségügyi hatásuk miatt határértékek szabályozzák jelenlétüket a levegőben. Romániában a kvarcnak 0,1 mg/m^3, míg a cristobalitnak és a tridimitnek 0,05 mg/m^3 a határértéke (Általános munkavédelmi előírások 508/2002). Ezek az értékek a belélegezhető frakciókra vonatkoznak. Számos tanulmány kimutatta, hogy a SiO_2 változatok katalizátorként viselkednek olyan reakciókban, melyek szabad gyököket és más DNS károsító hatóanyagokat termelnek (HEANEY & BANFIELD 1993).

A SiO_2 változatok fő hatása mégis a szilikózis, mely a legrégebben ismert foglalkozási betegség. Azoknál alakul ki, akik éveken keresztül lélegzik be a port. Gyakori a bányászok, fémmunkások, öntödei munkások, fazekasok körében. A tünetek általában lassan, 20–30 éven át fennálló porkitettséget követően alakulnak ki, bár ezt számos dolog befolyásolhatja (pl. a részecskék alakja és mérete, az expozíciós idő hosszúsága, az egyén egészségi állapota, szokásai, pl. dohányzás, a porkoncentráció). Számos esetben az is meghatározó, hogy ezek a tényezők hogyan hatnak egymásra. A belélegzést követően a por a tüdőbe kerül, ahol a makrofágok beke-

belezik. A makrofágokból felszabaduló enzimek a tüdőszövet hegesedését okozzák. Ezek a hegesedett részek nem tudnak oxigént szállítani a vérbe. A tüdő rugalmatlanná válik és a légzés nagyobb erőkifejtést igényel. A tüdő megbetegedése megerőlteti a szívet, ez szívelégtelenséghez vezethet, amely végzetessé is válhat. Ugyanakkor a tüdőgümőkórt okozó *Mycobacterium tuberculosis* nevű baktériumot gyakrabban találjuk meg szilikózisos betegeknél (DERBYSHIRE 2005). A szilikózis nem gyógyítható. Ha azonban a betegség korai szakaszában a beteg felfüggeszti a további expozíciót, a betegség kifejlődése megállhat.

A másik, egészségügyi szempontból potenciális kockázatot jelentő anyagcsoport az azbesztek. Kezdetben „az azbesztek" egészségkárosító tulajdonságai közül legfontosabbnak a morfológiát tartották (STANTON et al. 1981). In vivo állatkísérletekben változtatták a szálak méretét és minőségét és regisztrálták a mezoteliomás megbetegedések számát. Ezek alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a szálak morfológiája a döntő, az elemi összetétel és a felületi tulajdonságok csak annyiban számítanak, amennyiben a szál tartósságát meghatározzák a tüdőben uralkodó körülmények között. Ezzel szemben CHURG (1993) állatkísérletek alapján úgy véli, hogy a krizotil a tüdőben keresztben eltörik, így idővel a krizotilszálak felaprózódnak. A rövidülő szálakat könnyebben bekebelezik a falósejtek, így a falósejtekkel együtt a krizotil könnyebben távozik a tüdőből, mint az amfibolazbeszt. Az amfibol ugyanis csak hosszirányban hasad, az eredetivel egyenlő hosszúságú, de keskenyebb szálakat eredményezve (BANDLI et al. 2003, GUNTER et al. 2003). Ma már tudjuk, hogy az azbesztfajták közül a riebeckitnél volt a legszembetűnőbb a rákkeltő hatás, ezt követte a többi amfibol, és a legkevésbé veszélyes a krizotil (GUNTER et al. 2003).

Az egyes azbesztekhez kötődő tüdőbetegségeket két csoportba oszthatjuk: nem daganatos és rosszindulatú daganatos betegségekre. Az amfibolazbesztek okozta tüdőrák a légutak hámsejtjeit támadja meg (MOSSMANN 1993) és teljesen azonos azzal, ami a dohányosokat veszélyezteti (KANE 1993). Fontos megjegyezni, hogy a dohányfüst és az azbeszt hatása felerősítik egymást, tehát a dohányosok nagyobb eséllyel kapják meg a betegséget (GREEN et al. 1997). A beteg kezdetben tünetmentes, majd ahogy a terjeszkedő tumor csökkenti a hörgők és hörgőcskék térfogatát, tartós köhögés és visszatérő tüdőgyulladás lép fel. A tumor átterjedhet a többi szervre is. Az azbeszt által okozott tüdőráknak nincs speciális szövettani ismertetőjegye, így nem állapítható meg, hogy a daganatot azbeszt vagy más anyag váltotta-e ki.

A fibrózis kóros, megváltozott sejtszaporodás eredménye. A kötőszövet szaporodása főként az alsó tüdőlebenyeket, a léghólyagokat, hörgőcskéket érinti. A betegség többnyire hosszú ideig tartó (20–40 év), nagy azbesztkoncentrációjú por belélegzésének az eredménye, ami lassan súlyosbodik, még akkor is, ha közben megszűnik a káros behatás (KANE 1993, CENTENO et al. 2005).

A tüdő mellett az azbeszt ellenálló szálai, átfúródva a sejteken, képesek egyéb szervekbe, pl. vesébe, húgyhólyagba is bejutni.

Minták és módszerek

A Környezetvédelmi Ügynökség havonta 20 mintavételi helyről begyűjtött ülepedő pormintáiból 18 helyszín 4 (tíz esetben), 3 (három esetben) és 2 (öt esetben) hónapon keresztül gyűjtött mintáit elemeztük. Az alábbiakban röviden ismertetjük

3. ábra. Mintavételi helyek és jelöléseik

Fig. 3. Sampling sites and their symbols

a mintavételi helyek városon belüli földrajzi elhelyezkedését. Ipari területekről gyűjtött minták esetében, a gyár tevékenységét is bemutatjuk. A *3. ábra* a megye térképén szemlélteti a mintavételi helyeket és azok jelöléseit. A különböző magasságokban vett minták között nem tudtunk összefüggést megállapítani a befolyásoló tényezők sokfélesége miatt.

Kolozsvári (Cluj-Napoca) mintavételi helyek:

A Carbochim nevű gyár (1-es mintavételi hely) Kolozsvár északi részén, a Kis-Szamos jobb partján, az ipari övezetben helyezkedik el, és csiszolóanyagokat gyárt. A csiszolóanyaghoz használt szemcsék: elektrokorund (fehér, rózsaszínes, barnás színű) és szilícium-karbid (fekete és zöld színű). A gyűjtőedény 1 m-es magasságban van, a gyár udvarán.

A Bányászati Intézet (2-es mintavételi hely) Kolozsvár nyugati részén helyezkedik el a vasút mellett. Közelében más ipari egységek is találhatók, melyek befolyásolhatják az itteni minták összetételét. A gyűjtőedény 1 m-es magasságban van elhelyezve, az udvaron.

A kolozsvári Környezetvédelmi Ügynökség (3-as mintavételi hely) a Dorobanţilor úton van, tömbházak között, közel az úthoz. A mintavételi edények állványai az intézet első emeleti erkélyére vannak kihelyezve (kb. 3 m magasan). Ipari szennyező nincs a közelben.

A Sanex (Kolozsvár – 5-ös mintavételi hely) kerámia és porcelán alapú csempék, mosdókagylók, fürdőszoba-felszerelések gyártója a város északkeleti részén, a Kis-Szamos jobb partján ipari vállalatokkal van körülvéve. A gyár előtt halad el a vasútvonal. A felhasznált alapanyagok: különböző földpátásványok, kaolinit, montmorillonit stb. A gyűjtőedény elhelyezési magassága 5 m, az épület tetején.

A CUG (nehézgépgyár) (6-os mintavételi hely) a város észak-keleti részén, a Kis-Szamos bal partján, az ipari zónában van. Acél- és vasöntöde működik a gyár területén belül. Öntöttvasat, eketalpakat, kerekeket, hengermalmokat, bányafelszerelést, fúrófejeket, vegyiparban használt felszereléseket stb. gyárt. A mintagyűjtő edény az épület tetején van elhelyezve kb. 6 m-es magasságban.

A Terapia Gyógyszergyár (7-es mintavételi hely) Kolozsvár északi részén helyezkedik el, a Kis-Szamos bal partján. Tőle északra van a téglagyár és körülötte szintén ipari létesítmények találhatók. Gyógyszerészeti hatóanyagokat gyárt. A mintavételi edény 1 m magasságban található a gyár udvarán.

Tordai (Turda) mintavételi helyek:

A Torda város déli részén elterülő ipari zónában lévő *Casirom gyár* (9-es és 10-es mintavételi helyek) csiszolóanyagot gyárt és szilícium-karbid szemcséket használ termékei előállításához. Két helyről gyűjtenek mintát, a kapunál, 1 m-es magasságban, és a gyár udvarában, 1,8 m-es magasságban.

A *tordai Katonai Alakulat* (11-es mintavételi hely) a Casirommal szemben helyezkedik el, a város déli részén, az ipari övezetben. A gyűjtőedény 1 m-es magasságban van, az udvaron.

Torda ipari zónájához közel található, a ma már nem működő *sörgyár*, amelyet az E60-as és E81-es országutak találkozásánál levő körforgalom mellett helyeztek el (12-es mintavételi hely). A mintagyűjtő edények 1 m magasságban vannak, a gyárkapu mellett, az udvaron.

A cementet gyártó *Gipsum* (13-as mintavételi hely) gyár, az ipari zóna északi részén található. Itt a mintavételi edények 2 m-es magasságban vannak felállítva a gyár udvarán.

Dési (Dej) mintavételi helyek:

A *„Szamos" papírgyár* víztisztító állomása a várostól észak-nyugatra helyezkedik el (16-os mintavételi hely). A gyűjtőedény 6 m-en van, az épület tetején.

A város keleti részén helyezkedik el a dési Refrabaz (17-es mintavételi hely) ahol tűzálló téglákat gyártanak. Több típusú tűzálló terméke van, ezek közül megemlítjük a magnezites tűzálló téglát, magnézium- és króm tartalmú tűzálló téglát, spinell tartalmú tűzálló téglát, magnezit tartalmú meszet, kromitos meszet. A gyűjtőedény elhelyezési magassága 1 m, a gyár udvarán.

A dési vízkezelő állomás (18-as mintavételi hely) a várostól észak-nyugatra helyezkedik el. Ipari egység nincs a közelben. A gyűjtőedény elhelyezési magassága 2 m, a gyár udvarán.

Egyéb mintavételi helyek:

Az *Aranyosgyéres* (Câmpia Turzii) északi részén elhelyezkedő *Sodronygyár* (14-es mintavételi hely) sodronyt, huzalt, drótot és L alakú csöveket gyárt. A mintavételi edény az út mellett, egy ház udvarán van felállítva, 1 m-es magasságban.

A *Sortilemn bútorgyár* (*Szamosújvár* [Gherla] – 19-es mintavételi hely) a város északnyugati részén helyezkedik el a Szamos bal partján. A gyűjtőedény 2 m-es magasságban van elhelyezve, a gyár udvarán.

Bánffyhunyadon (Huedin) (22-es mintavételi hely) a mintagyűjtő edény a városközpontban van elhelyezve, a Polgármesteri Hivatal épületének erkélyén, 3 m-es magasságban. Ipari szennyező nincs a közelben.

Egeres (Aghireş) dél-keleti részén helyezkedik el, viszonylag közel a vasúthoz, az út mellett, a cementet gyártó *Romcim* (23-as mintavételi hely). A gyűjtőedény elhelyezési magassága 1 m, a gyár udvarán.

Mintaelőkészítés és vizsgálati módszerek

A kapott minták heterogén szemcseeloszlása miatt a vizsgálatok megkezdése előtt szükség volt a szemcseméret szerinti szeparálásra. Hét frakciót különítettünk el, ezek: >400 μm, 400–250 μm, 250–125 μm, 125–63 μm, 63–32 μm, 32–1 μm és <1 μm-es frakciók. Az elkülönítés nedves szitálással történt az első hat esetben, míg az 1 μm alatti frakciót ülepítéssel nyertük. Az ülepítésnél a Köhn-féle táblázatot vettük alapul. A kvarc sűrűségét tekintettük átlagos sűrűségnek, hőmérsékletnek pedig 20 °C-t. A szárítás szárítószekrényben (max. 100 °C-on), illetve szárítólámpa alatt történt.

A szemcseméret eloszlásokat eloszlásgörbék segítségével vizsgáltuk. Ezeket a görbéket kétféle módon nyertük: a frakciónként mért tömegek alapján, illetve lézeres szemcseméret eloszlásmérővel. Utóbbi vizsgálatok az ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszékének lézeres szemcseméret-elemző laboratóriumában készültek Fritsch Laser Particle Sizer Analysette 22-es műszerrel. A műszer mérőegysége egy 5 mW-os He-Ne lézerből, a megfelelő optikai berendezésből és a mérőcellából áll. Minden mérés előtt elvégeztük a háttérmérést. A műszer mérési tartománya 0,16–1250 μm.

A durva (63 μm fölötti) frakciók összetételének megfigyeléséhez sztereomikroszkópot használtunk. A szín, fény, keménység, hasadás, törés, termet és sósavban való oldékonyság segítségével állapítottuk meg az ásványtani összetételt. A farost és azbeszt biztos elkülönítésére égetést használtunk. A röntgen pordiffrakciós vizsgálat segítségével a mintákból megbízhatóan azonosíthatók az 5%-nál nagyobb mennyiségben lévő kristályos fázisok (Wogelius & Vaughan 2000). Egyes agyagásványok és más rétegszilikátok jelenléte csoportszinten még e határ alatt is biztonsággal valószínűsíthető. A röntgen pordiffrakciós felvételek az ELTE Ásványtani Tanszékén készültek SIEMENS 5000 Bragg-Bretano geometriájú, másodlagos, pirolitikus grafitkristály monokromátorral felszerelt pordiffraktométerrel, Cu-Kα sugárzás felhasználásával. A goniométer elfordulási sebessége 2°/perc volt.

A pásztázó elektronmikroszkóp segítségével, a felszíni topográfiáról nyert képek számos információt szolgáltatnak. Ha röntgen spektrométerrel (EDX) van ellátva, roncsolásmentes, gyors és könnyű tájékozódó elemi analízist kapunk a vizsgált mintáról. A legtöbb elemre a kimutatási határ ~ 0,5 térfogat% (Toyoda et al. 2004).

A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok az ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszékén készültek, PV 9800 EDX analizátorral felszerelt, Amray 1830 I/T6 típusú

elektronmikroszkóppal. A ragasztós szénkorongra felhelyezett egyedi szemcsékről szénnel való gőzölés után tájékozódó, standard nélküli elemzések készültek.

A minták vizsgálatának eredményei

Szemcseméret eloszlások elemzése

Mivel a szemcseméret egészségügyi és környezeti szempontból nagyon fontos, ezért elemeztük a szemcseméret-eloszlásokat. A két úton nyert eloszlásgörbét összehasonlítottuk és azt találtuk, hogy a két típus hasonló. Akkor lép fel eltérés, ha kisebb sűrűségű szemcse, pl. szerves anyag, növényi vagy állati maradvány van jelentős tömegben jelen valamelyik frakcióban.

Minden mintavételi hely 32–1 μm-es frakciójáról készült külön eloszlásgörbe lézeres szemcseméret eloszlásmérővel, egyrészt, mert ez volt a legszámottevőbb tömegű frakció, másrészt, ide tartoznak a 10 μm alatti szemcsék, melyek a legkárosabbak az egészségre. Minden esetben kétcsúcsú görbét kaptunk. Habár szitált volt a minta (32 μm-es szitával), mégis 31 μm fölött is jelentkeznek szemcsék. Feltehetően koagulált szemcséknek tulajdonítható ez.

Sztereomikroszkópos vizsgálatok

A durva (63 μm fölötti) frakciók összetételének jellemzésére sztereomikroszkópot használtunk. Félmennyiségi elemzések készültek a mintákról, kategóriákat különítettünk el, ezek: döntő, sok, kevés és nyomokban. A mennyiségi elemzést a minták nagy száma nem tette lehetővé. Egy mintán belül is nagy az összetevők száma.

A vizsgálatokból kitűnik, hogy az esetek nagy többségében a nagyobb szemcseméret tartományokban sok a szerves összetevő. Ahogy csökken a szemcsék mérete, nő az ásványi összetevők aránya. Ugyanakkor a havi minták között is eltérések vannak.

A különböző mintavételi helyeket vizsgálva, a következők állapíthatók meg:

Kolozsvári (Cluj-Napoca) mintavételi helyek

Carbochim gyár Kolozsvár – 1-es mintavételi hely. Megfigyelhető a szilícium-karbid, valamint a korund nagymennyiségű előfordulása a mintákban. Ez egyértelműen tükrözi a gyár tevékenységét, ahol csiszolóanyagokat gyártanak. A szilícium-karbidon kívül jelen vannak természetesen a szerves anyagok is, mint a cellulóz és rovarmaradványok, valamint kvarc, földpát, kalcit, csillámok. Található műanyagszál is a mintákban.

Bányászati Intézet – Kolozsvár – 2-es mintavételi hely. Ebben az esetben az összetétel szintén tükrözi azt, hogy az intézet ipari területen van, hiszen jelentkezik a limonitos salak, szferula, szilícium-karbid, korund (?), salak a mintákban. A májusi hónap 400 μm-nél nagyobb szemcseméret kategóriájában az összekuszálódott cellulózszálakban kisebb szemcsék is jelentkeznek. Rózsaszínes nagyon mállott kőzetszemcsék is találhatók a mintában. Nyomokban azbesztet is azonosítottunk.

Környezetvédelmi Ügynökség Kolozsvár – 3-as mintavételi hely. A legnagyobb (>400 μm) szemcseméret-tartomány vizsgálatánál a kalcit sokszor döntő mennyiségben van jelen a mintákban. Bár az intézet nem ipari terület közelében helyezkedik el, megjelenik a minták összetételében a salak, szilícium-karbid, szferula.

Sanex Kolozsvár – 5-ös mintavételi hely. Ennek a mintavételi helynek az érdekessége a röntgenpordiffrakciósan is igazolt, zöld, lemezes, táblás megjelenésű klorit. A márciusi hónap kivételével, a másik két hónapban (május, június) a klorit jelentkezik döntő mennyiségben a mintákban. Valószínűleg egyes csempék gyártására kloritos palát használnak. A 125–63 μm-es szemcseméret-tartomány esetében a kvarc uralkodik. Itt is találunk limonitos salakot, szilícium-karbidot. Az említetteken kívül jelen van a kalcit, földpát, virágpor, cellulózszálak, rovarmaradványok, csillám.

CUG (nehézgépgyár) Kolozsvár – 6-os mintavételi hely. Ezen a mintavételi helyen a limonitos salak és salak, szilícium-karbid, korund és szferula származik a gyár tevékenységéből. Nyomokban kloritot is azonosítottunk.

Terapia Kolozsvár – 7-es mintavételi hely. A márciusi hónap döntő mennyiségét a salak és limonitos salak teszi ki. Itt is megtalálható a klorit (?). Az áprilisi hónaptól a növényi és esetenként a rovarmaradványok vannak döntő módon jelen a mintákban. Áprilisban és májusban bizonyos frakcióknál a kvarc van jelen döntő mennyiségben.

Tordai (Turda) mintavételi helyek:

Casirom Torda – 1. minta és 2. minta – 9-es és 10-es mintavételi helyek. Mindkét mintavételi helyen a szilícium-karbid a döntő mennyiségű, a gyár tevékenységéből adódóan. A környékről vett mintákban mindenhol találunk szilícium-karbidot, ami arra utal, hogy egy fontos szennyezővel állunk szemben. Az említett szennyezőanyagon kívül megtaláljuk a limonitos salakot, a kvarcot, kalcitot, csillámot, üveget, szerves anyagokat. Nyomokban azbeszetet is azonosítottunk.

Tordai Katonai Alakulat – 11-es mintavételi hely. Mivel a mintavételi hely szemben található a Casirommal, emiatt a szilícium-karbid jelentős mennyiségben megtalálható ezekben a mintákban is. Az áprilisi hónapban megjelenik a klorit (?). Ezen kívül megtalálható a kvarc, szerves anyagok, kalcit, földpát, csillám, szferulák, limonitos salak, üveg, korund (?).

Sörgyár Torda – 12-es mintavételi hely. Ezekben a mintákban a kvarc és szerves összetevők döntő mennyiségben vannak jelen. Mivel út mellől gyűjtik a mintákat, a korom is jelentős mennyiséget képvisel. A szilícium-karbid jelenléte a Casirom mintavételi hely kis távolságának (~700 m) tulajdonítható. Márciusban a farost jelentkezik nagy mennyiségben.

Gipsum Torda – 13-as mintavételi hely. A döntő tömegmennyiséget a kalcit és karbonátok teszik ki. A Torda város ipari zónájában található Gipsum vállalat kb. 1 km-re helyezkedik el a Casiromtól, és a szilícium-karbid itt is megtalálható a mintákban. A többi összetevő nem tér el az előző mintákétól: kvarc, földpát, szerves összetevők, salak, korom, csillám stb.

Dési (Dej) mintavételi helyek

„Szamos" papírgyár víztisztító állomása Dés – 16-os mintavételi hely. Ebben az esetben, döntő mennyiségben farost van jelen. A korom mennyisége elég jelentős.

Refrabaz Dés – 17-es mintavételi hely. A májusi minták esetében döntő mennyiségben kvarc van. A többi azonosított összetevő: rovarmaradványok, farost, földpát, kalcit, szilcium-karbid, csillám, limonitos salak, szferula, azbeszt.

Vízkezelő állomás Dés – 18-as mintavételi hely. A farost jelen van minden mintában. Ugyanakkor jelentkezik az elszenesedett fa is (mint szinte minden olyan mintában, amelyben farost van). Az áprilisi minták esetében a döntő többséget a limonitos salak teszi ki, a szerves összetevők csak nyomokban jelentkeznek. A korom szintén jelentős mennyiségben megtalálható és valószínűleg a közlekedésből származik. Nyomokban találtunk kloritot (?) és azbesztet is. A többi összetevő: kvarc, kalcit, csillám, üveg, limonitos salak, műanyagszálak, szferula, festékszemcsék.

Egyéb mintavételi helyek

Sodronygyár Aranyosgyéres (Câmpia Turzii) – 14-es mintavételi hely. A mintákat döntő módon szerves összetevők, és kvarc teszi ki, míg salak csak nyomokban található.

Sortilemn Szamosújvár (Gherla) – *19-es mintavételi hely.* Ez a mintavételi hely abból a szempontból érdekes, hogy a 400 μm-es szemcsék tömege meghaladja a 32–1 μm-es szemcsékét. Ugyanakkor a minták legnagyobb részét cellulóz és elszenesedett fa teszi ki. Az elszenesedett fa a darabolás közben keletkezhetett. Az ásványi összetevők legtöbb esetben csak nyomokban vannak jelen. A ragasztószemcsék jelenléte csak ezekben a mintákban észlelhető. Nyomok-ban azbesztet is találtunk a mintákban.

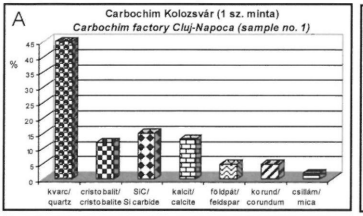
Bánffyhunyad (Huedin) városközpontja – 22-es mintavételi hely. Ezekben a mintákban a korom nagy mennyiségben van jelen. Az áprilisi minták első két (>400 μm, 400–250 μm) szemcseméret-tartományában a kvarc van döntő mennyiségben.

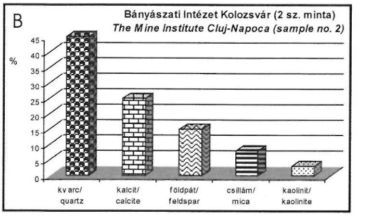
Romcim Egeres (Aghireş) – *23-as mintavételi hely.* Ennél a mintavételi helynél az érdekességet az azbeszt képezi annak ellenére, hogy legtöbb esetben a korom van döntő mennyiségben. A többi összetevő: kvarc, szerves anyagok, salak, kalcit, csillámok, szferula, üveg, festékszemcsék.

Röntgen pordiffrakciós vizsgálatok

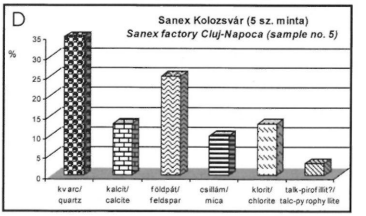
A röntgen pordiffrakciós felvételek kiértékelésénél a legnagyobb gondot a sok fázis, és az ipari termelésből származó szintetikus anyagok jelenléte jelentette. A 18 mintavételi hely különböző frakciójú mintáiról 78 rutin felvétel készült. A csúcsok pontos helyének megállapításához a PowderX programot használtuk.

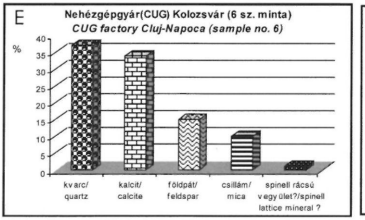
Az alábbi grafikonok (*4. ábra* A–R) az összetevők arányát szemléltetik az egyes mintákon belül a röntgen pordiffrakciós fevételek alapján durván becsült értékek szerint. A különböző frakciókról külön felvételek készültek mintavételi helyenként, valamint a begyűjtési hónap is változik. A bemutatott diagramok összesített értékeket ábrázolnak, frakciónkénti és havi lebontás nélkül, mivel a havi össze-

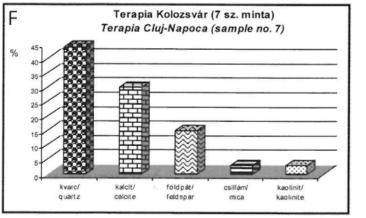

A
Carbochim Kolozsvár (1 sz. minta)
Carbochim factory Cluj-Napoca (sample no. 1)
%
kvarc/ quartz
cristobalit/ cristobalite
SiC/ SiC arbide
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
korund/ corundum
csillám/ mica

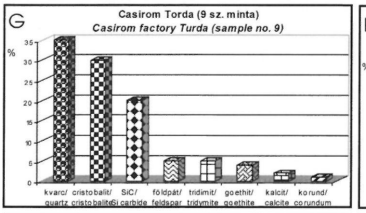

B
Bányászati Intézet Kolozsvár (2 sz. minta)
The Mine Institute Cluj-Napoca (sample no. 2)
%
kvarc/ quartz
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
csillám/ mica
kaolinit/ kaolinite

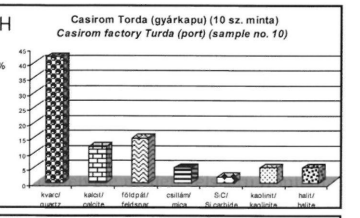
C
Környezetvédelmi Ügynökség Kolozsvár (3 sz. minta)
Environmental Protection Agency Cluj-Napoca (sample no. 3)
%
kvarc/ quartz
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
csillám/ mica
kaolinit/ kaolinite
amfibol/ amphibole

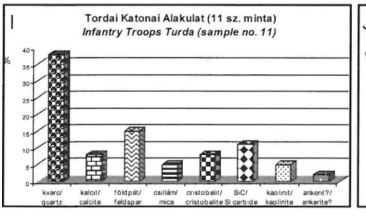

D
Sanex Kolozsvár (5 sz. minta)
Sanex factory Cluj-Napoca (sample no. 5)
%
kvarc/ quartz
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
csillám/ mica
klorit/ chlorite
talk-pirofillit?/ talc-pyrophyllite

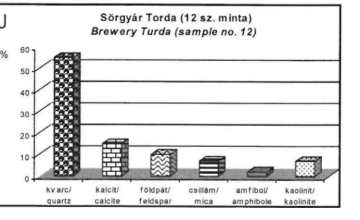

E
Nehézgépgyár(CUG) Kolozsvár (6 sz. minta)
CUG factory Cluj-Napoca (sample no. 6)
%
kvarc/ quartz
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
csillám/ mica
spinell rácsú vegyület?/spinell lattice mineral ?

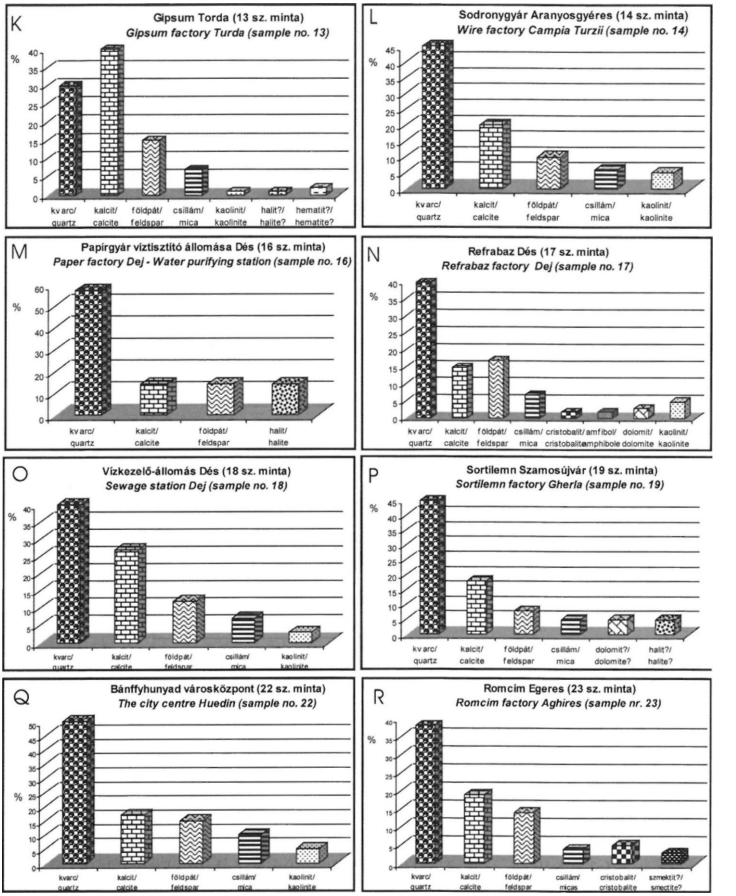

F
Terapia Kolozsvár (7 sz. minta)
Terapia Cluj-Napoca (sample no. 7)
%
kvarc/ quartz
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
csillám/ mica
kaolinit/ kaolinite


G
Casirom Torda (9 sz. minta)
Casirom factory Turda (sample no. 9)
%
kvarc/ quartz
cristobalit/ cristobalite
SiC/ SiC arbide
földpát/ feldspar
tridimit/ tridymite
goethit/ goethite
kalcit/ calcite
korund/ corundum


H
Casirom Torda (gyárkapu) (10 sz. minta)
Casirom factory Turda (port) (sample no. 10)
%
kvarc/ quartz
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
csillám/ mica
SiC/ SiC arbide
kaolinit/ kaolinite
halit/ halite


I
Tordai Katonai Alakulat (11 sz. minta)
Infantry Troops Turda (sample no. 11)
%
kvarc/ quartz
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
csillám/ mica
cristobalit/ cristobalite
SiC/ SiC arbide
kaolinit/ kaolinite
ankerit?/ ankerite?


J
Sörgyár Torda (12 sz. minta)
Brewery Turda (sample no. 12)
%
kvarc/ quartz
kalcit/ calcite
földpát/ feldspar
csillám/ mica
amfibol/ amphibole
kaolinit/ kaolinite



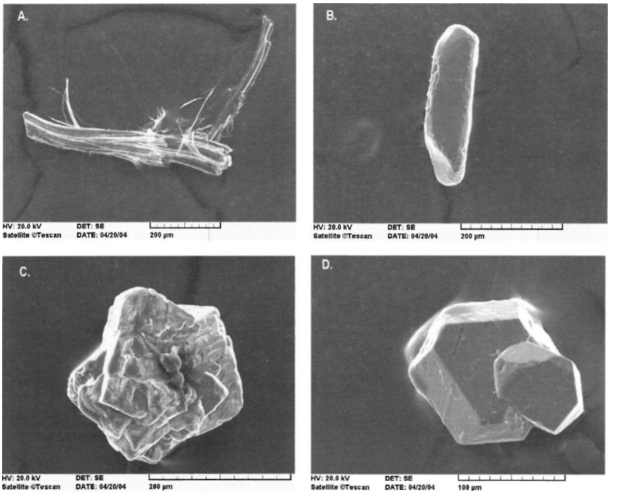
4. ábra. A kristályos vegyületek durván becsült mennyiségi megoszlása röntgen pordiffrakciós eredmények alapján (A–R)

Fig. 4. Distribution of crystalline phases. (Rough estimates from powder X-ray diffraction measurements)

tételek között nem voltak jelentős eltérések. Azokban az esetekben ahol a frakciók összetételénél eltérések jelentkeztek, ott külön tárgyaljuk ezeket.

Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok

A vizsgálatra kiválasztott szemcsék több mintából származnak. A vizsgált szemcsék között találtunk műanyagot, salakot, kalcium-karbonátot (*5C ábra*), rutilt (*5B ábra*), kianitot, ilmenitet (*5D ábra*).



5. ábra. Egyes kiválasztott szemcsék SEM felvételei (A–D): azbeszt (23IV minta >400 μm frakció), rutil (2V minta 125–63 μm frakció), $CaCO_3$ (19V minta 250–125 μm frakció), ilmenit (9V minta 250–125 μm frakció)

Fig. 5. SEM photos (SEI) of selected grains (A–D): asbestos (sample 23IV >400 μm fraktion), *rutile* (sample 2V 125–63 μm fraktion), *$CaCO_3$* (sample 19V 250–125 μm fraktion), *ilmenite* (sample 9V 250–125 μm fraktion)

Külön vizsgáltuk az egészségügyi szempontból fontos azbeszt szálakat (*5A ábra*), hogy elkülönítsük a karcinogén amfibolt és a csekély veszélyt jelentő szerpentin azbeszteket.

Az eredmények tárgyalása

Az ásványtani vizsgálatok során elemeztük a szemcseméret eloszlást, sztereomikroszkópos vizsgálatokat végeztünk, készültek röntgen pordiffrakciós elemzések és az egyedi szemcséket az erre alkalmas pásztázó elektronmikroszkóppal tanulmányoztuk.

Sztereomikroszkópos vizsgálatokat a 63 μm-nél nagyobb szemcséken végeztünk. Ezek a szemcsék ugyan nem jutnak mélyen a légzőszervrendszerbe, elemzésük azonban fontos, mert így is fejthetnek ki káros hatást. Felületükön toxikus vegyü-

leteket és radionuklidokat köthetnek meg (KIM et al. 2000), melyek bőrgyógyászati bántalmakat (bőrpír, viszketés, fájdalom) eredményezhetnek. A por ingerelheti a nyálkahártyát, valamint a szem kötőhártyáját is (DERBYSHIRE 2005).

A mintákban összefüggés figyelhető meg a szemcsenagyság és az összetétel között. Ahogy csökken a szemcseméret, úgy nő az ásványos összetevők aránya. A havi minták között is eltérések figyelhetők meg, pl. májusban nagy mennyiségű virágpor található a mintákban, míg márciusban alig találunk biogén eredetű anyagot. Ez azzal magyarázható, hogy a 2003-as év márciusa szokatlanul hűvös volt (Kolozsváron a havi átlaghőmérséklet 2,88 °C volt). A minták összetétele nagymértékben tükrözi az egyes ipari egységek tevékenységi területét. Ahol csiszolóanyagot gyártanak, vagy használnak, ott nagymennyiségben van jelen a szilícium-karbid és a korund. Ezenkívül nem elhanyagolható a salak mennyisége sem a mintákban. A természetes eredetű kvarc, kalcit, földpát és csillám minden mintában azonosítható.

A farost gyakori a mintákban. Habár azt hinnénk, hogy ezek ártalmatlanok, néhány fafaj rostja (pl. dió, cédrus) bőrbetegségeket is eredményezhet. A Romániában alkalmazott általános munkavédelmi előírások külön tárgyalják a kemény-, valamint a puhafa rostjainak levegőben megengedett határértékét (mindkét esetben 5 mg/m^3) (Általános munkavédelmi előírások 508/2002).

Az antropogén eredetű anyagok közül gyakran találunk még a mintákban szferulát, műanyagszálakat, üveget, kormot. Egyéb természetes eredetű anyagok az azbeszt, klorit, gipsz. Az utóbbi feltehetően másodlagosan képződött.

A röntgen pordiffrakciós vizsgálat sok esetben alátámasztotta a sztereomikroszkóppal azonosított ásványok jelenlétét, de számos új fázist is azonosítottunk segítségével.

A szilícium-karbid főképp a 125–63 μm és 250–125 μm-es frakciókban dúsul.

Jellemző, hogy a csillám és a kaolinit csoport a finom frakciókról készült felvételeken (63–32 μm, 63–1 μm) jelenik meg intenzívebb csúcsokkal. Mindkét összetevő megjelenik mind az ipari területekről, mind a forgalmas utak mellől gyűjtött mintákban.

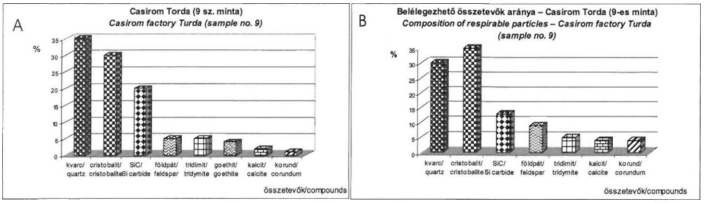
A klorit jelenléte egy mintavételi hely (5-ös minta, egy kerámiákat gyártó vállalat mintái) esetében számottevő, bár sztereomikroszkóppal más helyen is azonosítottuk.

A halit egy esetben jelentkezik nagy mennyiségben. Legtöbb esetben kis intenzitású a 100-as csúcs, de jelenléte nem zárható ki, mivel a levegő egyik közönséges ásványa. Mivel minden esetben a feldolgozás során használt ioncserélt víz teljes mennyiségét elpárologtattuk, ezért visszanyerhettük a vízben oldódó összetevőket is. Ezzel magyarázható a halit megjelenése a mintákban. Ott, ahol egyértelműen bizonyítható a jelenléte (10-es mintavételi hely), a mintavételi helytől ÉK-re 2 km távolságban kősó található a felszínen. Egy másik feltételezés szerint ez az utak téli szórásából maradhatott vissza.

Egy kisebb, de markáns csúcs több mintában is jelentkezett 2,52 Å-nél, ahol több spinell-rácsú fázis legintenzívebb reflexiója is várható. Más határozó értékű reflexió hiányában azonban e fázis(ok) jelenléte csak feltételezhető.

SiO_2 változatok

Ezeket a változatokat külön tárgyaljuk, mivel egészségügyi szempontból veszélyes anyagoknak számítanak.



6. ábra. (A–B) A kristályos vegyületek becsült mennyiségi megoszlása a teljes mintában (frakciók összesítése) és a 63–1 μm-es frakcióban – 9. sz. mintavételi hely, tordai Casirom gyár

Fig. 6. Estimated distribution of crystalline phases in the bulk sample (fractions summed, A) and the 63–1 μm fraction (B). Sampling site 9, Casirom factory Turda

1. táblázat. A tordai Casirom gyár (9. sz. mintavételi hely) kristályos vegyületeinek durván becsült mennyiségi megoszlása röntgen pordiffrakciós eredmények alapján

Table 1. Distribution of crystalline phases in the bulk sample (fractions summed) and the respirable fraction. (Rough estimates from powder X-ray diffraction measurements). Sampling site 9, Casirom factory Turda

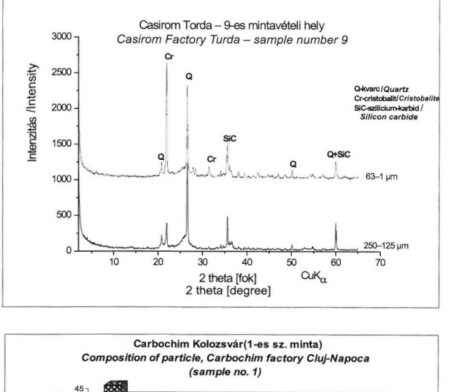
Döntő/*Dominant*	**Sok/*Much***	**Kevés/*Few***	**Nyomokban/*Trace***
25–50%	*~10%*	*~5%*	*1–3%*
A teljes mintát alkotó fázisok /*Phase composition of the whole sample*			
kvarc/*quartz* cristobalit/*cristobalite* SiC/*silicon carbide*	–	földpát/*feldspar* tridimit/*tridymite* goethit/*goethite*	kalcit/*calcite* korund/*corundum*
A 63–1 μm-es frakciók összetevői/*The phase composition of the 63–1 μm fractions*			
cristobalit/*cristobalite* kvarc/*quartz*	SiC/ *silicon carbide* földpát/*feldspar*	kalcit/ *calcite* tridimit/ *tridymite* korund/ *corundum*	–

A minták döntő többségében a legintenzívebb csúcsa a kvarcnak volt. A SiO_2 módosulatok közül egyes mintákban nagy mennyiségben van jelen a cristobalit (magas hőmérsékletű módosulat). A tridimit a cristobalithoz képest csak alárendelt mennyiségben jelentkezik és csak azokban a mintákban található meg, melyekben szilícium-karbid is van. Együttes jelenlétük szinte minden esetben összeköthető. Ez a cristobalit és a tridimit ipari eredetére utal. A cristobalit a szilícium-karbid gyártása során keletkezik (More et al. 2000, Chen et al. 2000)

A kolozsvári Carbochim gyár (1. számú minta) elemzett mintáiban csak a 63 μm-nél nagyobb frakciókban található nagy mennyiségű cristobalit, míg a tordai Casirom gyár mintáiban a 63 μm alatti frakciókban is találtunk. A *6. ábra* (A–B) és *1. táblázat* az utóbbi (9. számú) mintavételi hely összetevőit szemlélteti.

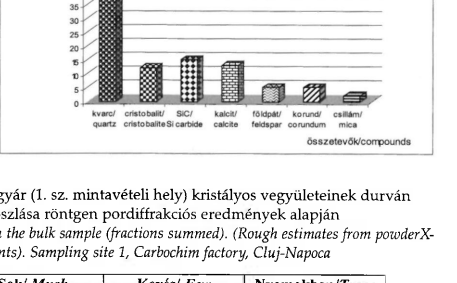
Ha elemezzük a belélegezhető frakció (63–1 μm) összetevőit (*6B ábra*), az eredmények azt mutatják, hogy a legnagyobb mennyiséget a cristobalit teszi ki, amiről tudjuk azt, hogy veszélyesebb, mint maga a kvarc (Heaney & Banfield 1993). Ha a különböző frakciókról készült diffraktogramokat hasonlítjuk össze, akkor látható a cristobalitnak finom frakciókban való dúsulása (*7. ábra*).

Az 1-es mintavételi helyen szintén magas az ipari tevékenységből származó összetevők aránya. A mintákban megjelenik a szilícium-karbid, cristobalit és korund. A *8. ábra* és *2. táblázat* az összetevők arányát mutatja be ezen a mintavételi helyen.



7. ábra. Kiugró cristobalitmennyiség a részben belélegezhető (63–1 µm) frakcióban – 9. sz. mintavételi hely, tordai Casirom gyár

Fig. 7. Cristobalite is the predominant phase in the partly respirable (63–1 µm) fraction – sampling site 9, Casirom factory Turda



8. ábra. A kristályos vegyületek (részben ásványok) durván becsült mennyiségi megoszlása röntgen pordiffrakciós eredmények alapján – 1. sz. mintavételi hely, kolozsvári Carbochim gyár

Fig. 8. Distribution of crystalline phases (partly minerals). (Rough estimates from powder X-ray diffraction measurements). Sampling site 1, Carbochim factory, Cluj-Napoca

2. táblázat. A kolozsvári Carbochim gyár (1. sz. mintavételi hely) kristályos vegyületeinek durván becsült mennyiségi megoszlása röntgen pordiffrakciós eredmények alapján

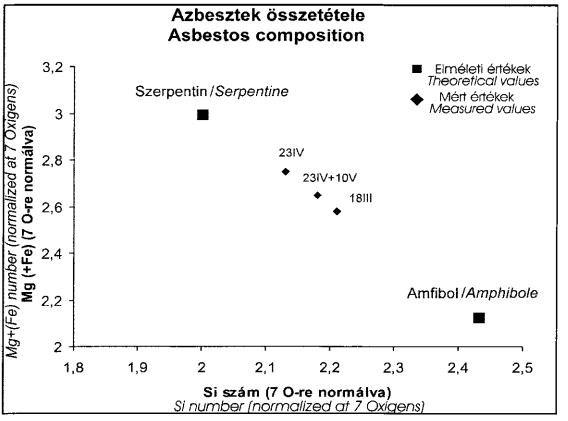
Table 2. Distribution of crystalline phases in the bulk sample (fractions summed). (Rough estimates from powderX-ray diffraction measurements). Sampling site 1, Carbochim factory, Cluj-Napoca

Döntő/ *Dominant*	**Sok/ *Much***	**Kevés/ *Few***	**Nyomokban/*Trace***
25–50%	*~10%*	*~5%*	*1–3%*
A teljes mintát alkotó fázisok /*Phase composition of the whole sample*			
kvarc/ *quartz*	SiC/ *silicon carbide* cristobalit/ *cristobalite* kalcit/ *calcite*	földpát/ *feldspar* korund/*corundum*	csillám/*mica*

Ezen a mintavételi helyen a belélegezhető frakción belül is ugyanaz a fázisok megoszlása.

Azbesztek

A sztereomikroszkópos vizsgálatok során néhány mintában azbesztet azonosítottunk. CHURG (1993) kísérletei is arra utalnak, hogy a tüdőben a krizotil és az amfibol szálak eltérően viselkednek, ezért fontos volt az összetétel megállapítása. Az elemzett szemcsék a 18III-as minta 250–125 µm, a 10V minta 250–125 µm és a 23IV minta >400 µm-es frakciójából (2 db szemcse) származnak.



9. ábra. A mintákban található azbesztszálak kémiai jellege (standard nélküli EDX mérés) összehasonlítva a tipikus azbesztmegjelenésű ásványok (szerpentin-félék, amfibolok) elméleti értékeivel. Az X tengely a szilícium számot, az Y tengely a Mg(+Fe) szám értékeit ábrázolja. A számolt szerpentin elméleti képlete $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$, az amfibolé $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ Elemzett minták: 10V 250–125 μm, 18III 250–125 μm, 23IV >400 μm (2 szemcse)

Fig. 9. Composition of the asbestiform particles (standardless semi-quantitative EDX measurements), compared tothe theoretical values of the most typical asbestiform minerals (serpentine-group, amphiboles). The horizontal axis represents the silicon number (a.p.f.u.), the vertical axis the total of magnesium and iron number. The theoretical serpentine formula is $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$, while that of the amphibole is $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$. Analized samples: 10V 250–125 μm, 18III 250–125 μm, 23IV >400 μm (2 particles)

Az amfibolazbesztek súlyos egészségkárosító hatását igazolták (CENTENO et al. 2005, CHURG 1993), mégis az általános munkavédelmi előírásokban a kétféle azbeszttípust nem különítik el. A megengedett határérték a levegőben, belélegezhető frakciók esetében 0,3 szál/cm^3 (Általános munkavédelmi előírások 508/2002). A 83/477/EEC (1983) irányelv rögzítette, hogy a levegő egészségre ártalmas azbesztszál-koncentrációjának meghatározásához az azbesztszálnak az a részecske minősül, amely legalább 5 μm hosszú, átmérője 3 μm, és hosszúság–átmérő aránya nagyobb, mint 3:1. Az általunk vizsgált azbesztszálak teljesítették ezeket a feltételeket.

A félkvantitatív elemzés megengedte elemarányok alapján megállapítottuk, hogy a mért elemarányok mind a négy vizsgált esetben a két elméleti érték között helyezkednek el, három esetben a szerpentin-azbeszt elemarányához állnak közelebb, míg egy esetben az arány pontosan a szerpentin és az amfibol közé esik (*9. ábra*).

Következtetések

Munkánkban az ülepedő por és részlegesen a szálló por ásványtani összetételét vizsgáltuk. A munka és a kapott eredmények jelentősége abban rejlik, hogy a vizsgált szemcseméretek szempontjából egy határterületen adunk új információt. Ezzel

a mérettartománnyal a meteorológusok már nem foglalkoznak, az ásványtani vizsgálatok pedig még nem foglalkoztak vele. Éppen emiatt a nevezéktan is nagyon tisztázatlan, ezért munkánkhoz egy nevezéktani függeléket is készítettünk.

A vizsgálatokhoz alapos szemcseméret szerinti elválasztást kellett végezni. A leválasztott minták tömegeinek lemérése után elkészültek az eloszlásgörbék a frakciók mintán belüli arányáról. Ellenőrzési céllal néhány szeparálatlan mintáról is készült eloszlásgörbe lézeres szemcseméret-eloszlásmérővel. A minták döntő többségében a 32–1 μm-es frakció van jelen a legnagyobb mennyiségben.

A vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a szemcseméret és az ásványos összetevők mennyisége fordítottan arányosak. A levegő portartalma nagyrészt a talaj eróziójából, az ipari szennyeződésekből és a közlekedésből származik. Minden minta esetében jelen vannak a természetes eredetű kristályos vegyületek (ásványok), de egy kivétellel (a tordai sörgyár – 12-es mintavételi hely) ezek mellett ott vannak az antropogén eredetű anyagok is. Azonosított természetes eredetű anyagok: kvarc, kalcit, földpát, dolomit, csillám, kaolinit csoport, klorit, anhidrit (?), amfibol csoport, halit, azbeszt, rutil, goethit, kianit és természetesen a biogén eredetű anyagok. Antropogén eredetűek: a szilícium-karbid, cristobalit, tridimit, korund, műanyagok. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy az ipari tevékenységből származó anyagok a levegőből ülepedő pornak jelentős részét teszik ki. Egyes ipari egységek szennyező anyagai a tőlük több száz méterre gyűjtött mintákban is megtalálhatók.

A kaolinit és a csillám csoport tagjai a finomabb frakciókban jelennek meg. A szilícium-karbid, amely néhány mintavételi helyen jelentős mennyiséget tesz ki, a 125–63 μm és 250–125 μm-es frakciókban dúsul. Szinte minden esetben a szilícium-karbidhoz kapcsolódva jelenik meg a cristobalit. A vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy a cristobalit azokon a mintavételi helyeken, ahol nagy mennyiségben jelentkezik, dúsulhat a belélegezhető frakcióban, ami fokozott egészségügyi veszélyt jelent.

Az ülepedő porok esetében nagyon óvatosan kell bánnunk a földtani környezetre utaló következtetésekkel. Elképzelhető mégis az, hogy pl. a nagy mennyiségű kőső a felszínen található sótömzsből ered, de származhat az utak sózásából is. Másik példa Tordán a 12-es mintavételi hely nagymennyiségű kalcitja, amely visszavezethető lenne esetleg a környéken található mészkövekre, viszont azt is figyelembe kell vennünk, hogy a mintavételi hely közvetlen közelében egy cementgyár működik (13. sz. mintavételi hely), amely alapanyagul mészkövet használ, és itt a minták nagy mennyiségét a kalcit teszi ki.

A munka befejezése távolról sem jelenti a felvetett problémák megoldását. A 32–1 μm-es és 1 μm-nél kisebb frakciók részletes elemzése még hiányzik (bár az 1 μm alatti frakció mennyisége nagyon csekély). Ezek vizsgálata, döntően transzmissziós elektronmikroszkóppal, még számos új ásványfázist is feltárhat.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a műszeres vizsgálatokat elvégző szakembereknek: LOVAS Györgynek és TÓTHNÉ KIRÁLY Juditnak a röntgen pordiffrakciós felvételek elkészítéséért, SZABÓ Csabának és BAROSSNÉ SZŐNYI Angélának a lézeres szemcse-

méret eloszlásmérő műszerrel való mérésért, GÁLNÉ SÓLYMOS Kamillának a pásztázó elekronmikroszkópos vizsgálatokért. Köszönet Marinela SIMIHĂIANnak, a Kolozs megyei Környezetvédelmi Ügynökségtől a mintákért, valamint TÓTH Erzsébetnek, Dana POPnak és Marcel BENEAnak a sok segítségért. Köszönet illeti MOLNÁR Ferencet, LOVAS Györgyöt, KLEB Bélát és PÓKA Terézt, akik a tudományos diákköri konferenciára elkészített dolgozatot bírálták és javaslataikkal segítették munkánkat.

Az első szerző köszönetet mond a Magyar Köztársaság Oktatási Minisztériumának az ösztöndíjért, ami lehetővé tette, hogy munkánk az ELTE Ásványtani Tanszékén készülhessen. Ugyanakkor köszönet BUDA Györgynek, aki lehetőséget biztosított a tanszéken való munkához. Köszönjük lektorainknak, VICZIÁN Istvánnak és RAUCSIK Bélának a kézirat javításához nyújtott hasznos észrevételeket és tanácsokat.

Végjegyzet:

[1]Egy erre a célra kidolgozott mintavevővel gyűjtik a mintákat, amelyen a levegő átáramoltatásával és speciális szűrők segítségével különválasztják a szemcséket. Az aeroszolok gyűjtése is hasonlóképpen történik. Ezzel a mintavételi eljárással kiküszöbölik a szeparálás hosszú folyamatát, hiszen a nyert frakciókat rögtön a mintavételezés után elemezni lehet.

Irodalom – References

508/2002 XII.06 Román kormányrendelet. Általános munkavédelmi előírások. Hivatalos Közlöny, vol. 880. (ORDINUL nr. 508/2002 al Ministrului muncii şi solidarităţii sociale şi Ministrului sănătăţii şi familiei. Normele generale de protecţie a muncii. Monitorul Oficial. nr. 880/06.12.2002).

83/477/EEC 1983.09.19 Official Journal of the European Communities, **L263, 24/09/1983**, 25–32.

BANDLI, B. R., GUNTHER, M. E., TWAMLEY, B., FOIT, F. F. & CORNELIUS, S. B. 2003: Optical, compositional, morphological, and X-ray data on eleven particles of amphibole from Libby, Montana, USA. – *Canadian Mineralogist* **41/5**, 1241–1253.

CENTENO, J. A., MULLICK, F. G., ISHAK, K. G., FRANKS, T. J., BURKE, A. P., KOSS, M. N., PERL, D. P., TCHOUNWOU, P. B. & PESTANER, J. P. 2005: Environmental pathology. In: SELINUS, O. (ed.): Essentials of Medical Geology – Elsevier Academic Press Oxford, 563–594.

CHEN, C. Y., LIN, C. I. & CHEN, S. H. 2000: Kynetics of synthesis of silicon carbide by carbothermal reduction of silicon dioxide. – *British Ceramic Transactions* **99/2**, 57–62.

CHURG, A. 1993: Asbestos lung burden and disease patterns in man. – In: GUTHRIE G. D., MOSSMAN B. T. (eds): Health Effects of Mineral Dusts, Vol. 28, Mineralogical Society of America, Washington D.C., 410–426.

DERBYSHIRE, E. 2005: Natural aerosolic mineral dusts and human health. – In: SELINUS, O. (ed.): Essentials of Medical Geology – Elsevier Academic Press Oxford, 459–480.

EUR 20268 EN 2002: Guidance document of the determination of particle size distribution, fibre lenght and diameter distribution of chemical substances. European Commission, Institute for Health and Consumer Protection.

GRANTZ, D. A., GARNER, J. H. B. & JOHNSON, D. W. 2003: Ecological effects of particulate matter. – *Environment International* **29**, 213–239.

GREEN, F. H. Y., HARLEY, R., VALLYATHAN, V., ALTHOUSE, R., FICK, G., DEMENT, J., MITHA, R. & POOLEY, F. 1997: Exposure and mineralogical correlates of pulmonary fibrosis in chrysotile asbestos workers. – *Occupational and Environmental Medicine* **54**, 549–559.

GUTHRIE, G. D. & MOSSMAN, B. T. (eds) 1993: Health Effects of Mineral Dusts, Reviews in Mineralogy vol. **28**, Mineralogical Society of America, Washington D.C, 584 p.

GUNTHER, M. E., DYAR, M. D., TWAMLEY, B, FRANKLIN, F. F. & SCOTT, C. 2003: Composition, Fe^{3+}/Sigma Fe, and crystal structure of non-asbestiform and asbestiform amphiboles from Libby, Montana, USA. – *American Mineralogist* **88/2**, 1970–1978.

HEANEY, P. J., & BANFIELD, J. A. 1993: Structure and chemistry of silica, metal oxides, and phosphates. – In: GUTHRIE G. D., MOSSMAN B. T. (eds.): Health Effects of Mineral Dusts, Vol. **28**, Mineralogical Society of America, Washington D.C., 185–233.

KANE, A. B. 1993: Epidemology and pathology of asbestos-related diseases. – In: GUTHRIE G. D., MOSSMAN B. T. (eds.): Health Effects of Mineral Dusts, Vol. **28**, Mineralogical Society of America, Washington D.C., 348–359.

KIM, E., KALMAN, D. & LARSON, T. 2000: Dry deposition of large, airborne particles onto a surrogate surface. – *Atmospheric Environment* **34**, 2387–2397.

LÁNG I. (szerk.) 2002: Környezet- és Természetvédelmi lexikon II. kötet. – Akadémiai Kiadó Budapest, 588 p.

MĂNESCU, S., CUCU, M. & DIACONESCU, M. L. 1994: Chimia sanitară a mediului. – Editura Medicală Bucureşti, 355 p.

MORE, K. L., TORTORELLI, P. F., FERBER, M. K. & KEISER J. R. 2000: Observation of accelerated silicon carbide recession by oxidation at high water-vapour pressures. – *J. Am. Ceramic Societies* **83/1**, 211–213.

MORENO, T., JONES, T. P. & RICHARDS, R. J. 2004: Characterisation of aerosol particulate matter from urban and industrial environments: examples from Cardiff and Port Talbot, South Wales, UK. – *Science of the Total Environment* **334–335**, 337–346.

MOSSMAN, B. T. 1993: Cellular and molecular mechanisms of disease. – In: GUTHRIE G. D., MOSSMAN B. T. (eds.): Health Effects of Mineral Dusts, Vol. **28**, Mineralogical Society of America, Washington D.C., 513–521.

Occupational Safety & Health Administration U.S.A (OSHA) 1994: Indoor air quality, Federal Registers, 04. 05. 1994, available at http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=FEDERAL_REGISTER&p_id=13369

PROSPERO, M. J. 1999: Long-range transport of mineral dust in the global atmosphere: Impact of African dust on the environment of the southeastern United States. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**, 3396–3403.

STANTON, M. F., LAYARD, M., TEGERIS, A., MILLER, E., MAY, M., MORGAN, A. & SMITH, A. 1981: Relation of particle dimension to carcinogenity of amphibole asbestos and other fibrous minerals. – *Journal of National Cancer Institute* **67**, 965–975.

TOYODA, M., KAIBUCHI, K., NAGASONO, M., TERADA, Y., TANABE, T., HAYAKAWA, S. & KAWAI, J. 2004: X-ray analysis of a single aerosol particle with combination of scanning electron microscope and synchrotron radiation X-ray microscope. – *Spectrochimica Acta, Part B* **59**, 1311–1315.

VÄKEVÁ, M., HÄMERI, K., PUHAKKA, T., HOHTI, H., MÄKELÄ, J. M. & NILSSON, D. 1999: The effect of precipitation and other weather parameters on aerosol particles in urban background area. – *Journal of Aerosol Science* **30, suppl. 1.**, 649–650.

WOGELIUS, R. A. & VAUGHAN, D. J. 2000: Analytical, experimental and computational methods in environmental mineralogy. – Environmental Mineralogy/EMU Notes in Mineralogy 2, Eötvös University Press Budapest, 7–87.

Függelék

A jelen függelékében a por és az aeroszolok definíciója körüli, mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalomban meglévő nevezéktani bizonytalanságokat mutatjuk be. Az Egészségügyi Világszervezet szabványától egészen a fontosabb cikkekben megjelent definíciókig, a határterületet több oldalról közelítő reprezentativitással, de a teljesség igénye nélkül próbáljuk áttekinteni e határterület nevezéktanát. Hogy elkerüljük a(z önkényes) fordításokból adódó esetleges téves magyarázatokat, megtartottuk az eredeti nyelvet, ezért a függelék vegyes, angol és magyar nyelvű. Nem vállaljuk fel a határterületen, a magyar szaknyelvi szókincs egységesítését, de rámutatunk, hogy jelentős ellentmondások vannak a fogalmak tartalmában, a különböző kapcsolódó szakterületek között. Azt várjuk, hogy e fogalomtisztázási folyamat, megfelelő határterületi együttműködés esetén, néhány év alatt természetesen, konszenzussal le fog folyni.

A por meghatározását néhány nemzetközi szabvány alapján adjuk meg. Az Egészségügyi Világszervezet 1999-ben Genfben kiadott szabványában a következő meghatározást találjuk (WHO/SDE/OEH/99.14):

„Dusts are solid particles ranging in size from below 1 μm up to around 100 μm, which may be or become airborne, depending on their origin, physical characteristics and ambient conditions. This document does not deal specifically with other aerosols (such as fumes and mists), with very fine particles resulting from chemical reactions in the air, or with air pollution outside the workplace. However, in many cases similar principles of control apply to these as to dusts.

Examples of hazardous dusts in the workplace include:

– mineral dusts from the extraction and processing of minerals (these often contain silica, which is particularly dangerous);

– metallic dusts, such as lead and cadmium and their compounds;

– other chemical dusts, such as bulk chemicals and pesticides;

– vegetable dusts, such as wood, flour, cotton and tea, and pollens;

– moulds and spores.

Asbestos is a mineral fibre, which is particularly dangerous, and is found, for example, in maintenance and demolition of buildings where it had been used as insulation material.

In occupational hygiene, particle size is usually described in terms of the aerodynamic diameter, which is a measure of the particle's aerodynamic properties. Whether or not an airborne particle is inhaled depends on its aerodynamic diameter, the velocity of the surrounding air, and the persons' breathing rate. How particles then proceed through the respiratory tract to the different regions of the lungs, and where they are likely to deposit, depend on the particle aerodynamic diameter, the airway dimensions and the breathing pattern. If a particle is soluble, it may dissolve wherever it deposits, and its components may then reach the blood stream and other organs and cause disease. This is the case, for example, of certain systemic poisons such as lead. There are particles which do not dissolve, but cause local reactions leading to disease; in this instance, the site of deposition makes a difference. When a relatively large particle (say 30 μm) is inhaled, it is usually deposited in the nose or upper airways. Finer particles may reach the gas-exchange region in the depths of the lungs, where removal mechanisms are less efficient. Certain substances, if deposited in this region, can cause serious disease, for example, free crystalline silica dust can cause silicosis. The smaller the aerodynamic diameter, the greater the probability that a particle will penetrate deep into the respiratory tract. Particles with an aerodynamic diameter > 10 μm are very unlikely to reach the gas-exchange region of the lung, but below that size, the proportion reaching the gas exchange region increases down to about 2 mm. The depth of penetration of a fibre into the lung depends mainly on its diameter, not its length. As a consequence, fibres as long as 100 μm, have been found in the pulmonary spaces of the respiratory system".

A Nemzetközi Szabványosító Szervezet (International Standardization Organization) definícója (ISO 4225 - ISO, 1994):

"Dust: small solid particles, conventionally taken as those particles below 75 μm in diameter, which settle out under their own weight but which may remain suspended for some time".

A Nemzetközi Elméleti és Alkalmazott Kémiai Egyesület (IUPAC) a Légkörkémiai kifejezések szójegyzékében (Glossary of Atmospheric Chemistry Terms, 1990)) a port a következőképpen defineálja:

"Dust: Small, dry, solid particles projected into the air by natural forces, such as wind, volcanic eruption, and by mechanical or man-made processes such as crushing, grinding, milling, drilling, demolition, shovelling, conveying, screening, bagging, and sweeping. Dust particles are usually in the size range from about 1 to 100 μm in diameter, and they settle slowly under the influence of gravity."

Az ausztráliai kormányzat környezeti osztályának porokkal foglalkozó kiadványában a következőket találjuk összefogalva (Department of the Environment – Australian Government 2005):

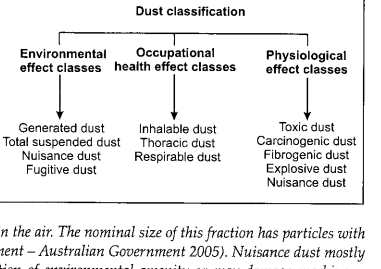
In aerosol science, it is generally accepted that particles with aerodynamic diameter >50 μm do not usually remain airborne very long: they have a terminal velocity >7cm/sec. However, depending on the conditions, particles even >100 μm may become (but hardly remain) airborne. Furthermore, dust particles are frequently found with dimensions considerably <1 mm and, for these, settling due to gravity is negligible for all practical purposes. The terminal velocity of a 1 μm particle is about 0.03 mm/sec, so movement with the air is more important than sedimentation through it. Therefore, summarizing in the present context, it is considered that dusts are solid particles, ranging in size from below 1 μm up to at least 100 μm, which may be or become airborne, depending on their origin, physical characteristics and ambient conditions.

Dusts are generated not only by work processes, but may also occur naturally, e.g., pollens, volcanic ashes, and sandstorms. In relation to health, particles with diameter < 3 μm, length > 5 μm, and aspect ratio (length to width) greater than or equal to 3 to 1, are classified as "fibres" (WHO, 1997). Examples of fibres include asbestos (comprising two groups of minerals: the serpentines, e.g., chrysotile, and the amphiboles, e.g., crocidolite - "blue asbestos"). Other examples include synthetic fibrous materials such as rockwool (or stonewool) and glass wool, as well as ceramic, aramid, nylon, and carbon and silicon carbide fibres.

Although in occupational hygiene, the term "airborne dust" is used, in the related field of environmental hygiene, concerned with pollution of the general atmospheric environment, the term "suspended particulate matter" is often preferred.

1.ábra. A por osztályozása (SIMRAC 2003)

Fig. 1. Dust classification (SIMRAC 2003)



Dust may be sub classified with regard to its environmental, occupational health and physiological effects (Fig. 1). The environmental impacts of dust are generally due to both airborne and non-airborne particulate matter. Generated dust is produced by mechanical processes in which solid material is broken into smaller fragments, not all of which becomes airborne although most is capable of being entrained into the atmosphere. Total suspended dust is the generated dust that is entrained in the air. The nominal size of this fraction has particles with a diameter of up to 50 μm (Department of the Environment – Australian Government 2005). Nuisance dust mostly describes coarse particles that can result in the reduction of environmental amenity or may damage machinery, diminish visibility or become an irritant substance in the atmosphere (SIMRAC 2003). Fugitive dust refers to dust derived from not easily defined sources or from more than one source (Department of the Environment – Australian Government 2005). This type of dust is also one of the larger problems in mines as it often generates from unconfirmed sources and avoids capture. Fugitive dust is often found deposited outside the mine boundaries or far away from major dust generation sources. Potential occupational health hazards have established a classification of airborne particulate matter. The inhalable, thoracic and respirable fractions are determined by the European Committee for Standardization (CEN) and British Standard Institution on the BS EN 481:1993 (CEN 1993). The total inhalable dust is the fraction of airborne material, which enters the nose and mouth during breathing and is therefore available for deposition anywhere in the respiratory tract (CEN, 1993), (ISO 1995). Thoracic dust is defined as the fraction of inhaled particles that penetrate beyond the larynx. This fraction varies from individual to individual as well as with breathing pattern. Respirable dust represents the fraction, which penetrates to the gas exchange region of the lung. Similar to the thoracic fraction, the respirable fraction varies according to individual characteristics and breathing pattern (Health and Safety Executive 1993). The physiological effect of dust on human health is another major issue for any mining operation. Certain types of dust can negatively affect working conditions. For example toxic dusts can cause chemical reactions with the respiratory system or allow toxic compounds to be absorbed into the bloodstream through the alveolar walls. Examples of such hazardous dusts are lead, arsenic, uranium and other radioactive minerals, tungsten, silver and nickel (SIMRAC 2003). Carcinogenic dusts, like uranium, asbestos, arsenic or quartz dust can cause cancer. Many other dusts cause microscopic scarring of lung tissue (fibrogenic dust). Over long periods this can produce a fibrous growth of tissue resulting in loss of lung elasticity and a greatly reduced area for gas exchange. Silica, asbestos, mica, talc are some of the most hazardous of the fibrogenic dusts and may also produce toxic and carcinogenic reactions (SIMRAC 2003).

SZTANYIK B. László (2001) a pornak az alábbi meghatározását adja:

„a por szilárd halmazállapotú részecskékből és gázból (levegőből) álló keverékrendszer, amelyben a részecskék méreteloszlása tág határok között változhat, de túlnyomórészt a kolloid tartományba esik. Ha a szilárd részecskék mellett folyékony részecskék is keverednek a levegőhöz, akkor füstről beszélünk. A szilárd részecskék méreteik alapján két csoportra oszthatók: a 0,1–10 μm közötti átmérőjű részecskéket, amelyek a levegővel kolloidális keveréket alkotnak és csak soká ülepednek le, aeroszolnak (a hazai szóhasználatban lebegő vagy szálló pornak) nevezik, míg a 10 μm-nél nagyobb átmérőjű, többé-kevésbé gyorsan ülepedő részt aeroszesztonnak vagy ülepedő pornak. A porok lehetnek szervetlen és szerves, természetes és mesterséges, ásványi és nem ásványi eredetűek, kristályos és nem kristályos (amorf) szerkezetűek, szemcsés és rostos formájúak. A szilárd részecskék méret szerinti felosztása biológiai szempontból is jelentős. Az 5 mikrométernél nagyobb szemcsék már a felső és középső légutakban leválasztódnak és előbb-utóbb kiürülnek, míg a tüdő szövetébe, különösen a léghólyagocskákba csak az ennél kisebb méretű szemcsék jutnak. Ebből következik, hogy az aeroszeszton legfeljebb a bőrt, a szem kötőhártyáját és a légutak nyálkahártyáját izgatja, az orvosi szempontból legsúlyosabb következményekkel, a tüdő olyan kóros elváltozásával, mint a portüdő, elsősorban a finom szemcséjű porok tartós munkahelyi vagy lakossági belégzése esetén kell számolnunk."

Az ülepedő por csak az egyik oka a légszennyeződésnek. Számos forrásból származhat és széles mérettartományt ölel fel. SHILLITO (1993) egy egyszerű osztályozást javasolt mely tükrözi a por forrását, méretét, a szállítás mechanizmusát és a tapasztalható hatásokat:

„Macro deposits are large individual obtrusive deposits that are clearly visible to the naked eye at about 1 m distance. They include smuts and blobs from chimneys and rain modified dust films that cause complaints when they

deposit on cars and drying washing. Acid smuts can vary in size from about 0,5 mm to 10 mm diameter and are the result of incomplete combustion in oil-fired boilers. They are usually agglomerates of smaller coke particles with some absorbed sulfuric acid. The larger smuts do not travel far from the emitting chimney; 200 to 300 m from short (20–50 m high) chimneys and 1 km or more from high (over 70 m) chimneys. Gritty deposits comprise large dust particles in the diameter range 200–1000 μm dispersed mainly from unpaved or dirty paved roads. With ground level sources, particles of this size do not travel more than 200 m. Films of dust are formed from deposits of smaller particles (diameters in the range 10–50 μm) which combine together to cause the depositing surface to become dingy. Particle of this size are easily dispersed and transported by the wind and so constitute a nuisance at significant distances from the source.

Az aeroszolok főleg levegőkémiai szempontból fontosak. Ezért a meteorológiának egy fontos kutatási területét képezik. Egészségügyi szempontból is fontos szerepük van, hiszen lejutnak a tüdő alveolusaiba. Mészáros Ernő (1977) az alábbi definícióját adja az aeroszoloknak:

„aeroszolnak nevezzük valamely gázhalmazállapotú közeg s a benne finoman elosztott szilárd vagy cseppfolyós részecskék együttes rendszerét. A gáz esetünkben a levegő, míg a finoman elosztott anyagokat azok a részecskék jelentik, amelyek különböző folyamatok eredményeként kerülnek a légkörbe.

Aeroszolról vagy aerokolloidális rendszerről akkor beszélünk, ha

a) a részecskék ülepedési sebessége kicsi,

b) a részecskék mozgása következtében fellépő tehetetlenségi hatások elhanyagolhatók, azaz ha a tehetetlenségi és viszkózus erők aránya kicsi,

c) a részecskék Brown-féle hőmozgása viszonylag nagy,

d) a részecskék felülete összehasonlíthatatlanul nagy a térfogatukhoz képest.

Az első három, egymástól nem teljesen független kritériumot dinamikus, míg az utolsót fizikai-kémiai feltételnek nevezzük."

WHITBY (1978) szerint a légköri aeroszolok mérete megközelítően a következő három mérettartományba sorolható:

The nucleation (or ultrafine) mode contains particles with diameters less than about 0,01 μm; these particles result from the condensation of gaseous precursors. Small droplets in the nucleation mode coagulate to create particles in the 0,1–1,0 μm size range, termed the accumulation mode. Nucleation-mode particles can also grow into the accumulation mode by direct vapour condensation onto their surfaces. Owing to these processes, the chemical composition of particles in the nucleation and accumulation modes are, in general similar. The particles in these two modes constitute the class of fine particles. The coarse mode consists of particles formed by the desintegration of Earth's surface and vegetation. Particles from combustion sources also contribute to this size range. It follows from the different formation processes that the compositions of fine and coarse particles are different (WHITBY 1978 in PÓSFAI & MOLNÁR 2000).

Booker et al. (1998) más mérettartományokba sorolja az aeroszolokat:

Aerosol particles in the ambient atmosphere arise from a whole range of sources: wind-raised dust from soil heaps, construction sites and open fields, sea spray, industrial activity, emissions from animals and plants (microbial and fungal spores), traffic, volcanoes, forest fires and combustion processes, residues from the evaporation of sprays, mists and fogs, and photochemical conversion of gas to particles (mainly sulfates and nitrates). They can range in size from 0,05 to 1000 μm with at least three modes within the size distribution, each mode varying significantly in origin, chemical composition and residence time in the atmosphere. The finest mode is the nuclei mode, consisiting of particles with diameters less than 0,1 μm, most of which are formed by combustion processes or by gas-to-particle conversions. The accumulation mode, consisiting of particles between 0,1 and 2 μm, is formed by the coagulation of the smaller nuclei particles. The third coarse mode contains particles with diameters from 2 to greather than 100 μm, generated by a wide range of both naturally occuring and man-made processes such as wind blown dust dispersal and soil erosion, grinding and crushing, etc. Such particles are less long-lived in the atmosphere than those in the to finer modes, and as result the coarse mode is more variable from one location to another.

Irodalom a függelékhez– References to the Appendix

BOOKER, D. R., GRIFFITS, W. D., LYONS C. P, MARK D. & UPTON S. L. 1998: Aerosol sampling guidelines. AEA Technology – The Royal Society of Chemistry – Valid Analitical Measurement, Bodmin, Cornwall, UK.

CEN 1993: Workplace atmospheres – size fraction definitions for measurement of airborne particles. – European Committee for Standardization, British Standard Institute, Great Britain, BS EN 481:1993/BS 6069-3.5:1993.

Department of the Environment – Australian Government 2005: Sustainable Minerals–Dust Control. Department of Environment. Available at: http://www.deh.gov.au/industry/industry-performance/minerals/booklets/dust/index.html (accessed 7.3.2005).

Health and Safety Executive 1993: General methods for the gravimetric determination of respirable and total inhalable dust. Health and Safety Executive, Occupational Medicine and Hygiene Laboratory, UK, MDHS 14.

ISO 1995: Air quality – particle size fraction definitions for health related sampling. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, ISO 7708.

MÉSZÁROS E. 1977: A levegőkémia alapjai. – Akadémiai Kiadó Budapest.

PÓSFAI, M. & MOLNÁR, Á. 2000: Aerosol particles in the troposphere: A mineralogical introduction. In: VAUGHAN, D. J., WOGELIUS, R. A.(eds.): *EMU Notes in Mineralogy* **2**, , Eötvös University Press Budapest, 197–252.

SHILLITO, D. 1993: Dust nuisance, identification, measurement and control. – *Environmental Protection Bulletin* 023.

SIMRAC 2003: Handbook to reduce the exposure of workers to dust. – Members of the Special Interest Group on Dust and Ventilation, Safety in Mines Research Advisory Committee (SIMRAC), South Africa, COL 027.

SZTANYIK, B. L. 2001: Az energetikai környezetszennyezés élettani hatásai. – *Magyar Tudomány* **11**, 1348–1354.

WHITBY, K. T 1978: The physical characteristics of sulfur aerosols. – *Atmospheric Environment* **12**, 135–159.

World Health Organization 1999: Hazard prevention and control in the work environment: Airborne dust. World Health Organization, Switzerland, WHO/SDE/OEH/99.14. Available at: http://www.who.int/occupational-health/publications/airdust/en

Kézirat beérkezett: 2005. 04. 27.

Földtani Közlöny 136/4. 573–590. (2006) Budapest

Magyarország szénhezkötött metánvagyona

Coalbed methane in-place resources in Hungary

FODOR Béla[1]

(5 ábra, 8 táblázat)

Tárgyszavak: szénhezkötött metán, sújtólég, adszorpciós/deszorpciós izoterma, készletbecslés
Keywords: coalbed methane, firedamp, absorption/desorption isotherm, resource estimation

Abstract

This study summarizes the genesis and accumulation of coalbed methane (CBM). It presents the Hungarian coal basins with respect to geological conditions and firedamp hazard. The (former) underground coal mines of Hungary were grouped in classes according to the specific emission of methane in any ventilating district of the mines. The estimation of methane gas in-place was performed by ventilating data, but in the case of the Mecsek Coal Basin underground programmes were used to drain methane from the coal prior to mining; absorption/desorption tests and other analyses, as well the results of former attempts and studies were also applied.

The preliminary estimates cited in this report show the total in-place gas contents (hypothetical + speculative) of Hungarian coal basins ranging from 152–159 billion cubic metres. This amount is near to the identified Hungarian conventional natural gas in-place (174 billion cubic metres).

The largest part (92–94%) of the in-place coalbed methane potential exists in the Mecsek Coal Basin, from which about 29–50 billion cubic metres are recoverable. The previous attempts to drain CBM from the surface through wells have not been successful in the Mecsek because of the low permeability of the coal and the type of technology applied.

The coalbed gas (methane) resource potential of Hungary should be further investigated in order to evaluate its potential impact on the future energy budgets of the nation.

Összefoglalás

A cikk összefoglalja a szénhezkötött metán keletkezésének és felhalmozódásának viszonyait. Bemutatja Magyarország szénmedencéinek teleptani és sújtólég-veszélyességi jellemzőit, a sújtólég-veszély történeti adatait. Bányaszellőztetési és sújtólég-veszélyességi osztályok alapján becsli az egyes szénmedencék metánvagyonát. A mecseki feketekőszén medence esetén a becslés már konkrét kutatási eredményeken alapul. A hazai szénmedencék földtani metánvagyonát 152–159 Mrd m^3-ben valószínűsíti, majdnem eléri a hazai konvencionális földgáz mennyiségét (174 Mrd m^3). A metánvagyon mintegy 90–92%-a (közel 143 Mrd m^3) a Mecsekben található, melyből 29–50 Mrd m^3 ítélhető kitermelhetőnek. Részletesen ismerteti a mecseki metán-rezervoár paramétereit, a korábbi mélyművelésű szénbányászat sikeres földalatti gázlecsapolási munkálatait, és a metán hasznosítását. A felszínről mélyített mecseki fúrásokkal történt gázlecsapolási kísérletek – a szén alacsony permeabilitása és az alkalmazott technológiák miatt – nem vezettek eredményre. E jelentős nemzeti vagyon kiaknázásához új módszerek kifejlesztése szükséges.

Bevezetés

A szénhezkötött metán (angol nyelvű megfelelője: coalbed methane, rövidítése: CBM) elnevezés a széntelepekben (esetenként kísérőkőzeteiben) elhelyezkedő nem konvencionális földgázra vonatkozik. A CBM a szénülési folyamat során keletkezett, nagyrészt metánból álló, de nitrogént, szénhidrogénféleségeket, szén-

[1]Magyar Geológiai Szolgálat, 1143 Budapest, Stefánia út 14, e-mail: drfodorbela@t-online.hu

dioxidot stb. is tartalmazó gáz. Alapvetően a szénrétegekben helyben marad, de bizonyos esetekben a fedő- és fekükőzetekbe is migrál. Egy része szabad gáz formájában, más része szorbeált formában van jelen. A szorpció nem csupán felületkitöltést, hanem teljes térbeli kitöltést is jelent. Adott hőmérsékleten és nyomáson meghatározott mennyiségű metán szorbeálódik. A nyomás csökkenésével a metán felszabadul, deszorbeálódik. Ezt a jelenséget (adott hőmérsékleten) írja le a Langmuir és több más egyenlet, illetve mutatják be a szoprciós-deszorpciós görbék, az izotermák (BARKER 1996). A deszorbeált metán diffúzió révén hagyja el a szénmátrixot és a mikropórusokat, ezután a természetes törési hálózatba kerül, ahol áramlással jut az esetleges megcsapoló helyhez.

A világ számos országában (USA, Kanada stb.) termelnek szénhezkötött metánt. 2000-ben az USA teljes földgáztermelésének közel 7%-a, 36 milliárd m^3 a szénhezkötött metánból származott. A szén jó gáztároló rezervoár. Az USA CBM-t termelő mezőiben található szén, mely vízszint alatt helyezkedik el, permeabilitása 1–10 mD, ritkán az 1 D értéket is eléri. A CBM termelés technológiája: a felszínről kutakat mélyítenek a széntelepek feküjéig, a vizet folyamatosan szivattyúzzák. Ezáltal a szénben a nyomás csökken, a metán deszorbeálódik, s a vízzel együtt a kutakon távozik. A metán leválasztása a felszínen szeparátorokkal történik (HARRIS et al. 1990).

Összehasonlításul: Magyarországon a szénhezkötött metán szempontjából kiemelkedő helyen szereplő mecseki feketekőszén medencében a szén permeabilitása csupán 10^{-1}–10^{-3} mD, a széntelepek és a kísérő kőzetek vízmentesek. Más hazai szénmedencék zöme is csak minimális víztartalommal rendelkezik. Ezért a vízszintsüllyesztéses módszer Magyarországon nem alkalmazható. Kivételt képez a rétegvizek alatti pannon korú lignit (melynek metántartalma gyakorlatilag zérus) és a dorog–esztergomi szénmedence egyes, karsztvízszint alatti széntelepei. Az utóbbi esetben azonban a vízszintsüllyesztés környezetvédelmi okokból nem valósítható meg. A szénhezkötött metán jellemző mérőszáma az *in situ* szénben tárolt fajlagos gázmennyiség: m^3/tonna.

A szénbányászattal összefüggő metán (Coal Mine Methane, CMM) a szénhezkötött metánnal genetikailag azonos fogalom. Míg a CBM a még nem bányászott széntelepekben található, addig a CMM a széntermelés folyamán a szénből (és kísérőkőzeteiből) szabadul fel. Jellemző mérőszáma a kitermelt szénre vonatkoztatott fajlagos gázmennyiség: m^3/tonna). Mivel ennek értéke nem csak az *in situ* (gas in place) metántartalomtól, hanem a széntermelés volumenétől is függ, nem azonos a szénben tárolt fajlagos gázmennyiséggel. Kis vagy nagy mennyiségű termelés esetén – ugyanolyan mértékű szellőztetést feltételezve – megtévesztő is lehet.

A mélyművelésű szénbányászatban bányahatósági előírások alapján (KOVÁCS & ERNEI 1982) kötelező légméréseket végezni, melynek során meg kell határozni a levegő CH_4 tartalmát is m^3/nap és a széntermelésre vetített m^3/t dimenzióban. Ezek alapján történt a bányák sújtólégveszélyességi osztályokba sorolása. E történeti adatok felelhetők, és indirekt módon felhasználhatók a metánvagyon becslésére.

A mecseki feketekőszén medence kivételével (ahol konkrét mérések állnak rendelkezésre) a hazai szénelőfordulások metánvagyonának meghatározásánál (más információ hiányában) kénytelenek voltunk figyelembe venni a m^3/tonna széntermelés értékeket (bányaszellőztetési adatok, sújtólég-veszélyességi osztályok).

Magyarországon – a Márkushegyi Bányaüzem kivételével – már nem működik mélyművelésű szénbánya, ezért a CMM hasznosítása nem jöhet szóba.

A világ egyes helyein azonban – a bányagázoktól szétválasztva – kommunális vagy ipari célra, ill. villamos áram termelésre használják a CMM és AMM gázt. Ezek fűtőértéke – az oxidáció következtében – alacsonyabb, mint a CBM gázé (SOMOS 1991).

A felhagyott bányák/bányamezők metánvagyonát (Abandoned Mine Methane, AMM) az öregségi műveletekben csapdázódott szabad gáz alkotja, mely utánpótlást kaphat a szénben szorbeált metánból. A nemzetközi szakirodalom GOB-gázként is definiálja. A „GOB" kifejezés felhagyott, összetöredezett bányatérséget jelent. az AMM mérőszáma: m^3; illetve a visszahagyott szénre vonatkoztatva m^3/t. Magyarországon AMM metán termelés elsősorban a mecseki feketekőszén medencében kerülhet szóba, de a többi (lignit kivételével) szénelőfordulásokon sem kizárt (bár kis metánkészletre számíthatunk).

Szénbányászati külfejtések esetén – részben a földtörténet során, részben a termeléssel egy időben – a kigázosodás miatt CBM; CMM; AMM gáz kinyerésének nincs létjogosultsága.

A széntelepek és a szénhezkötött metán keletkezése, a metán felhalmozódása

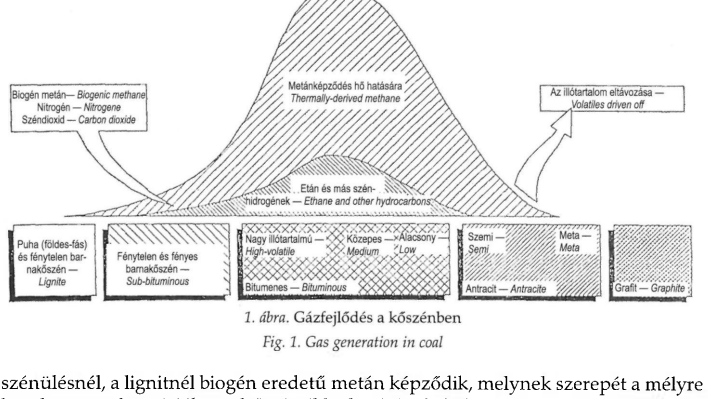
Mint ismeretes, a kőszén szerves eredetű kőzet, mely képződése során bonyolult fizikai és kémiai folyamatok eredményeképpen változatos kémiai összetételű, többnyire rendkívül porózus, nagy fajlagos felületű anyaggá vált. A kőszén növényi maradványokból keletkezett, melyek mocsarakban, lápokban rakódtak le a földtani korszakok folyamán. Ezek idővel, földtani hatások következtében jelentős mélységbe kerültek, s a nagy nyomás és a hőmérséklet hatására kolloidális szerkezetük megváltozott. Az évmilliókig tartó szénülési (diagenetikus) folyamatban a nyomás elősegíti a fizikai-szerkezeti szénülést, a hőmérséklet növekedése meggyorsítja a kémiai szerkezeti változásokat (RADNAINÉ 1991). A szénülés kétfázisú folyamat: kezdő szakasza biokémiai, befejezése geokémiai átalakulás (VADÁSZ 1952).

A növényi anyagban a láp fenekén, a levegőtől elzárva indul meg a tőzegképződés, mely a kőszénképződés biokémiai-diagenetikus bevezetője, normális hőmérsékleten, jelentősebb nyomás nélkül lezajló bomlási-redukciós folyamat. A mikrobák kolloid oldatokat eredményeztek, melyekből a víz jelentős része fokozatosan eltávozik, a kolloid megkeményedik, a szén alapanyaga tömörül. A további szénülés során – melyet geokémiai-dinamomechanikai szakasznak nevezünk – a nyomás és hő hatására a már kialakult tőzeg, ill. barnakőszén feketekőszénné, majd antracittá alakul (RADNAINÉ 1991).

A szénülés során az illó anyag mennyisége csökken, és reflektáló képesség nő.

A cellulóz- és ligninmolekulák (főleg ezekből állnak a növényi sejtek) a szénképződési folyamat során metán, széndioxid és víz alakjában elvesztették hidrogénjük és oxigénjük egy részét. Hozzávetőleges számítások azt mutatják, hogy a szénülés folyamán tonnánként 100–200 m^3 metánnak kellett felszabadulnia (SZIRTES 1971).

A gázképződést a szénülés függvényében szemlélteti az *1. ábra* (ICF Resources Incorporated 1992). A vízszintes tengelyen a szénülési fok látható az USA American Society for Testing and Materials (ASTM) szabvány szerint. A legalacsonyabb



1. ábra. Gázfejlődés a kőszénben

Fig. 1. Gas generation in coal

szénülésnél, a lignitnél biogén eredetű metán képződik, melynek szerepét a mélyre került szenes formációban a hőmérséklet hatására keletkező metán (valamint kisebb mennyiségben etán és egyéb szénhidrogének) veszi át. A metánképződés maximumát a közepesen bitumenes szeneknél éri el, a további szénülés során a keletkezett metánmennyiség csökken, az illótartalom távozása után a meta-antracitnál már zérus.

A szénülés közben képződött gázokból – a migráció korlátozott volta miatt – a széntelepekben és kísérő kőzeteiben nagymennyiségű gáz halmozódhatott fel.

A szén sok esetben jobb metán rezervoár, mint egy porózus homokkő, vagy valamilyen repedezett mészkő. A metán a szén repedéseiben és makropórusaiban szabad gáz formájában fordul elő. A repedések felületén adszorpciósan, a mikropórusokban szorpciósan kötött formában, míg a szén molekuláris szerkezetében szilárd oldatként van jelen.

A pórusok besorolása méretük alapján:

mikropórusok	$<10^{-5}$ mm
átmeneti pórusok	10^{-5}–10^{-4} mm
szubmakro-pórusok	10^{-4}–10^{-3} mm
makropórusok	10^{-3}–10^{-1} mm

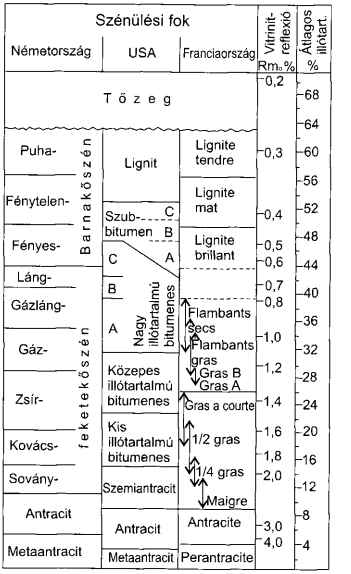
1. táblázat. A meddőkőzetek részaránya a Mecseki Kőszén Formációban

Table 1 Proportion of barren rocks in the Mecsek Coal Formation

Megnevezés	Részarány %
Kőzettörmelékes homokkő	1,0–2,7
Homokkő	22,5–54,5
Aleurolit	9,9–20,3
Agyagkő	39,5–15,7
Agyagvaskő (András akna)	4,0
Márga, mészkő (András akna)	10,7
Vulkanitok	0,2–0,4

A mecseki feketekőszén medencében – hazánk legnagyobb szénhezkötött metán előfordulásán – a szén porozitása az erősebben szénült pécsi területeken 5–15%, a komlói szeneknél 1–7% (Radnainé 1991). A meddőkőzetek összporozitása 5,7%-tól 8,9%-ig változik.

A mecseki medence meddőkőzeteinek a Mecseki Kőszén Formáción belüli részvételi arányát mutatja be az *1. táblázat* (Kiss 2002)



2. ábra. A szénülés különböző fokozatai, német, észak-amerikai és francia osztályozás szerint (FÜCHTBAUER 1988 nyomán)

Fig. 2 The different stages of coalification according to the German, North American and French classification, after FÜCHTBAUER (1988)

A 2. *ábra* a szenesülés fokozatait a német, USA és francia osztályozási rendszer szerint szemlélteti. (BELLÁNÉ in BALOGH 1992). A Methane Master (1994) zárójelentésében a német rendszerbe illesztette be a mecseki kőszeneket (gázlángszéntől a kovácsszén utolsó harmadával bezárólag). Az USA rendszerében lignitként definiált szénhez tartozik a magyar rendszer szerinti lignit (pannon és miocén földes-fás barnakőszén), az észak-magyarországi miocén széntelepek, a dunántúli felső-kréta széntelepek. Az ASTM szerinti sub-bituminous osztályba sorolhatók eocén széntelepeink. A mecseki alsó-jura (liász) kőszéntelepek a nagy, közepes és alacsony illótartalmú (high-, medium-, low volatile) bituminous csoportba tartoznak (2. *táblázat*).

Mint az előzőekből kitűnik, a széntelepek egyrészt generálják a metán keletkezését, másrészt tárolják azokat. A tárolt/kötött gáz részben spontán szabadul fel, más esetben a kigázoltatáshoz serkentés, stimuláció szükséges.

2. táblázat. Néhány magyarországi szénminta ASTM szerinti besorolása (LANDIS et al. 2002a)
Table 2 ASTM rank of selected Hungarian coals (LANDIS et al. 2002a)

Mintavétel helye	Széntelep kora	ASTM szerinti besorolás
Zobák-akna	kora-jura (liász)	High-volatile bituminous
Ármin-akna	késő-kréta	Lignite A
Balinkai bányaüzem	eocén	Sub-bituminous C
Putnok	miocén	Lignite A
Visonta	pliocén (pannóniai)	Lignite B

Magyarország szénmedencéinek rövid földtani ismertetése

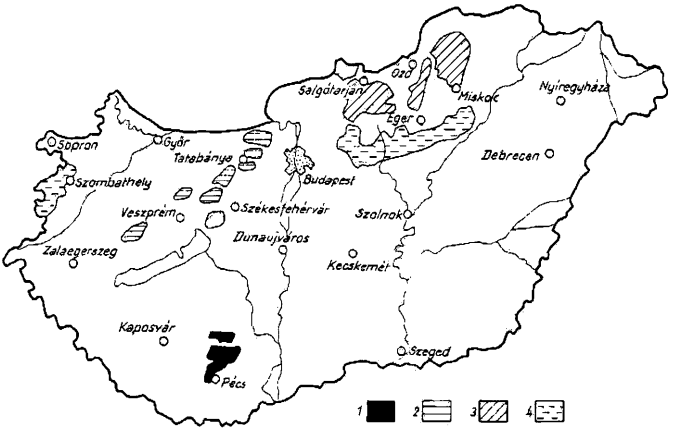
Hazánk szénbányászata 1745-ben Vértessomlyón (tatabánya–oroszlányi szénmedence) kezdődött, ahol oligocén korú szenet fejtettek. Brennbergbányán 1759-ben, Csolnokon (dorog-esztergomi szénmedence) 1781-ben, a Mecsekben Vasason 1782-ben, Sajókazán (borsodi szénmedence) 1786-ban indult meg az iparszerű széntermelés. A szénbányászat az igények következtében mennyiségében, térben és időben bővült. A XIX., majd a XX. század során, a kutatások következtében az ismert szénlelőhelyek, valamint a működő bányák száma és a termelés rohamosan növekedett. A magyarországi szénbányászat csúcspontja 1961–1965 között volt, több mint 30 Mt/év termeléssel. A hazai szénbányászat hanyatlása – elsősorban a belső és külső gazdasági környezet megváltozása miatt a XX. század utolsó harmadában következett be. A termelés a külfejtéses lignitbányászatban viszont nőtt. Napjainkban az éves széntermelés mindössze 13,4 Mt/év, melynek jelentős része (8,6 Mt/év) a külfejtéses lignit.

Már csak egyetlen mélyművelésű bánya üzemel: a Márkushegyi Bányaüzem. Éves termelése 1,5 Mt. A széntermelés fennmaradó része kisebb külfejtésekből származik.

Magyarország kőszénterületeinek áttekintő térképét a *3. ábra* szemlélteti (BELLÁNÉ in BALOGH 1992).

Mecseki feketekőszén medence

Magyarország egyetlen feketekőszén előfordulása. A kőszénből kinyerhető kokszszén koncentrátum aránya 25%. A medence tartalmazza Magyarország leg-



3. ábra. Magyarország kőszénterületeinek áttekintő térképe (JÁMBOR nyomán BELLÁNÉ in BALOGH 1992). 1. alsó-liász feketekőszén, 2. eocén kemény barnakőszenek, 3. miocén barnakőszenek, 4. pannóniai barnakőszenek (lignitek)

Fig. 3 Coal resource areas of Hungary (after JÁMBOR, BELLÁNÉ IN BALOGH 1992). 1 Lower Jurassic Mecsek Coal Form., 2 Eocene brown coal, 3 Miocecene brown coal, 4 Pannonian Lignite

nagyobb szénhezkötött metán készletét, ezért földtanát a többi medencéhez képest bővebben tárgyaljuk.

A Mecseki Kőszén Formáció késő-triász–kora-jura korú, de fő tömegében kora-jura. Vastagsága Pécs környékén eléri a 900 m-t, majd É–ÉK felé haladva fokozatosan elvékonyul. A kőszénösszlet fedőjében előbb 50–200 m vastag homokkő, majd 70–500 m vastag márgaösszlet helyezkedik el. Felette a további teljes jura rétegsor megtalálható. A kőszén-előfordulás teljes területe (mintegy 350–400 km^2) a Keleti-Mecsekben található. Határai: Pécs, Komló, Magyaregregy, Szászvár, Máza, Nagymányok, Hidas, Mecseknádasd, Hird. A területen belül a bányászatra érdemesnek tartott széntelepek 70 km^2-en helyezkednek el, melyből a korábbi bányászat 20–25 km^2-t érintett. A medencében az 5 cm-t elérő vastagságú telepek száma 175, melyek közül mintegy 30 telepet bányásztak. A pécsi bányák összegzett művelhető telepvastagsága mintegy 25 m, Komló környékén 30–35 m, a Mecsekben átlagosan 30 m. A rétegsor erősen gyűrt, töréses és pikkelyes szerkezetű. A kéregmozgások a telepeket morzsalékossá tették. A telepeket szenes agyagkő, homokkő, aleurolit és agyagkő rétegek, továbbá alkáli bazalt teleptelérek (trachidolerit, diabáz) választják el. A feketekőszén átlagos szénülési foka délről, Pécsbánya körzetétől (sóványkőszén) észak felé haladva csökken, a minimumot Komlón (lángkőszén, gázkőszén, gázkokszkőszén) és a Keleti-Mecsek északi részén (Nagymányok) éri el (NÉMEDI VARGA 1995). A hegység északi részén Nagymányoktól nyugat felé haladva a szénülés ismét – erőteljesen – növekszik, így Szászvárnál zsírkőszén és kovácskőszén állapotot is eléri.

A többi magyarországi kőszénmedencét – mivel iparilag felhasználható metánt csak kis mértékben tartalmaznak – csupán röviden tárgyaljuk.

Ajkai medence (Ajka–Padrag–Csékút)

Felső-kréta (senon) barnakőszén előfordulás. A kőszéntelepek három telepcsoportban találhatók. Jelenleg már valamennyi bánya bezárt.

ÉK-dunántúli eocén barnakőszén terület

Idetartoznak a következő szénmedencék: Dorog–Esztergom–Pilis, Tatabánya–Nagyegyháza–Mány, Oroszlány, Balinka–Kisgyón–Dudar. Valamennyi limnikus eredetű barnakőszén terület. Jellemző rájuk a töréses szerkezet. A bányászat fő központjai Tatabánya, Dorog, Tokod, Balinka, Pusztavám, Mór, Dudar, Nagyegyháza, Csordakút és Mány volt, de a Budai-hegységben is folyt széntermelés. A Márkushegyi Bányaüzem kivételével valamennyi szénbánya bezárt. Korábban a területen vékony oligocén széntelepeket is műveltek (Vértessomlyó, Mogyorósbánya stb.)

A nógrádi és a borsodi-ózdvidéki barnakőszén terület

A széntelepek az kora–középső-miocén korban keletkeztek, limnikus jellegűek. Jelenleg csupán néhány kisebb külfejtésben folyik termelés.

Brennbergbánya

A szén kora-miocén korú. A kőszéntelepes összlet a paleozoos kristályos alaphegység lepusztult felszínére települt. Az előfordulás jelentősebb része Ausztriához tartozik. Nincs működő bánya.

Várpalota, Hidas

E területeken középső-miocén korú lignittelepek találhatók. Mindkét területen bányászták a lignitet, jelenleg nincs széntermelés.

3. táblázat. A magyarországi szénmedencék földtani vagyona
Table 3 In situ coal resources of the Hungarian coal basins

Kőszénmedence neve	Földtani (in situ) szénvagyon (Mt)
Mecseki feketekőszén-medence*, egyben Magyarország összes feketekőszén vagyona	1597
Dorog–Pilisi barnakőszén medence	426
Tatabánya–Nagyegyháza–Mányi barnakőszénmedence	427
Oroszlányi barnakőszénmedence	157
Bakonyi barnakőszénmedencék (eocén–oligocén, miocén, kréta)	837
Nógrádi barnakőszénmedence	211
Borsodi és ózdvidéki barnakőszénmedence	1153
Magyarország összes barnaszénvagyona	3211
Mátra–Bükkaljai és Nyugat-Magyarországi lignitterületek, egyben Magyarország összes lignitvagyona	5812
Magyarország összes ismert szénvagyona	**10620**

*A mecseki medence nyilvántartott szénvagyona 1100 m mélységig került kiszámításra. Ha a számítást további mélységekre is kiterjesztjük, úgy 1500 m mélységig mintegy 3,3 Mrd tonna, a teljes mélységig (kb. 3000 m) legalább 4 Mrd tonna földtani vagyon adódik.

Mátra- és Bükkalja

A pannóniai korú lignit a kiszélesedő Pannon-beltenger partszegélyi, mocsaras vidékein jött létre. A lignitvagyon kiemelkedően nagy. Jelenleg a visontai és a bükkábrányi külfejtésben folyik (jelentős volumenű) termelés.

Szombathely–Torony

A mátrai- és bükkaljai telepekhez hasonlóan ez is pannóniai korú lignitelőfordulás, mely Szombathelytől nyugat felé Ausztriába is áthúzódik. A lignit a Pannon-beltenger partszegélyi üledéke. Készlete jelentős. A területen korábban kis mértékű bányászat folyt.

Az egyes szénmedencék ismert földtani (*in situ*) vagyonát (MGSz, 2004) a *3. táblázat* szemlélteti. a táblázatban nem szerepeltettük a kitermelhető szénvagyont (földtani vagyon mínusz pillérek vagyona mínusz tervezett termelési veszteség plusz tervezett termelési hígulás), mivel a szénhezkötött metán hordozója a földtani, és nem a kitermelhető vagyon.

A sújtólégveszély története a magyar mélyműveléses kőszénbányászatban

A magyar mélyműveléses kőszénbányászat közel 200 éves története során gyakran került szembe a bányatérségekbe beáramló metánnal, mely a levegővel keveredve 5–15%-os koncentráció esetén robbanóképes elegyet, sújtóléget alkot. A

sújtólégveszély kisebb-nagyobb mélységben (a pannóniai korú lignittelepek kivételével) szinte valamennyi kőszénmedencében fennállt. Ezt tetézte a mecseki liász korú szénmedencében a hirtelen kőzetfeszültség-átrendeződés hatására bekövetkező gázkitörés, amikor is több ezer m^3 metán robbanásszerű hevességgel tört a bányatérségekbe. A sújtólégveszély elhárításának alapvető módszere a bányák jó szellőztetése volt.

A következőkben – a teljesség igénye nélkül – ismertetjük a metánnal kapcsolatos legfontosabb eseményeket (BENKE & REMÉNYI 1996).

Brennbergbányán a régi fejtési üregekben halmozódott fel sújtólég abban az esetben, ha azok vízzel telítődtek. Ilyen jellegű sújtólég kiáramlást több ízben is megfigyeltek, de ezek szerencsétlenséget nem okoztak.

A Dorogi-medencében az első tömeges baleset a tokodi Gusztáv-aknában 1871-ben következett be. A felhagyott bányatérségekben összegyűlt metánt egy nagyobb omlás préselte a nyitott bányatérségekbe, ahol az levegővel keveredve sújtóléget alkotott, amely a nyílt lángú lámpáktól robbant be. A legsúlyosabb tömegszerencsétlenség 1942-ben az Erzsébet-aknában történt. Egy robbantás hatására omlás, majd jelentős metánkiáramlás történt, melyet szintén nyílt lángú lámpa robbantott be. Ez újabb metánkiáramlást idézett elő, így többközpontú robbanássorozat következett be. 1963-ban a Reimann-aknán volt súlyos sújtólégrobbanás, melyet követően az üzemet I-es sújtólég-veszélyességi osztályba sorolták. (sújtólég-veszélyességi osztályokat a 4. fejezetben tárgyaljuk). A Lencse-hegyi szénbánya – bár 1989 előtt I-es sújtólég-veszélyességi osztályba volt besorolva – nem tartalmazott metánt. Dorog XXI. aknán a fekü triász mészkőben egy kavernára fúrtak, a fúrásból 1–2 napig jött a metán.

A Pilisi-medence Szent István-aknájában lezárt feltörés megnyitásakor robbant be a metán, ezt követően a bányát I-es sújtólég-veszélyességi osztályba sorolták.

A Tatabányai-medencében az első nagyobb metánrobbanás az ún. II. aknában 1897-ben következett be. A robbanás dinamitos robbantás után történt. A legnagyobb katasztrófa a XII. akna nyugati bányamezejében 1950-ben történt, 81 bányász halálát okozva, ugyanis a sújtólégrobbanást szénporrobbanás követte. 1978 folyamán a XII./a. akna egyik frontfejtésében volt katasztrófális sújtólégrobbanás.

Az Oroszlányi-medencében 1948-ban a XVII. aknán vágathajtás során, 1970-ben ugyancsak a XVII. aknán volt sújtólégrobbanás. A legsúlyosabb metánrobbanás a Márkushegyi bányaüzemben 1983-ban következett be.

Balinkán sújtólégrobbanás nem történt. Metán jelenlétét azonban észlelték az öregségi műveletekben.

A várpalotai miocén lignit-előfordulás valamennyi bányájában (SI., SII., Bántabánya) a mélység felé haladva észlelték a metánt, mely halálos balesetet is okozott.

Az ajkai késő-kréta korú szénmedencében három metánfellobbanás ismert: 1965-ben Padrag-bányán, 1966-ban Jókai-bányán, és 1971-ben Ármin-bányán. Ezt követően sorolták az ajkai bányákat az I-es sújtólég-veszélyességi osztályba.

A nógrádi kőszénmedencében először 1887-ben volt sújtólégrobbanás: a mizserfai János-akna mélyítésével kapcsolatban a légakna tengelyében a külszínről indított fúrásra föld alatt rálykasztottak, a bányában összegyűlt metán a fúrólyukon keresztül kiáramlott a szabadba, s ott felrobbanva tönkretette a mélyépítő vitlát és a gépházat. A Gyula-lejtakna vágataiban 1920-ban metángázt észleltek. Metángáz

jelenlétét mutatták ki a kisterenyei körzetben is. Az egyik kisterenyei bányában 1943-ban történt sújtólégrobbanás. 1961-ben a mizserfai bányaüzemben (Duclos VII. bánya) a II. telep fejtése során a korábban már lefejtett I. telepből metángáz áramlott be, a robbanás 8 emberéletet követelt. A nagybátonyi bányák sújtólégveszélyesek voltak. A Nógrádi-medencére jellemző, hogy a metánveszély nyugat felé haladva növekedett, de a gáz mennyisége általában nem haladta meg az I. sújtóléges osztályra előírt értéket. Nem képezi jelen dolgozat tárgyát, de említésre méltó, hogy a Vizslás- és a Tiribes-bányákban jelentős mennyiségű szén-dioxid-beáramlás volt.

A mecseki feketekőszén medence kiemelkedő jelentőségű a metántartalom és a sújtólégveszély szempontjából.

A mecseki bányászkodás természeti környezetét jelentősen meghatározta a széntelepek metántartalma. A zárórétegektől és a későbbi tektonikai hatásoktól függően a telepek gáztartalma változó, de egyértelműen kimutatható, hogy a mélység felé haladva növekedett. Dr. Radó Aladár mérései szerint 1976 és 1981 között éves átlagban 46 Mm^3 gázfelszabadulás jelentkezett a művelt bányákban. A sújtólégveszély és a gázkitörésveszély minden földalatti mecseki szénbányára jellemző volt. Már az 1870-es években is voltak áldozatot követelő sújtólégrobbanások. A legsúlyosabb metánrobbanás 1910-ben Szászvár bányában történt.

A metán veszélytelen mértékű felhígításához erőteljesen növelték a szellőztetési kapacitást. A sújtólégrobbanás-veszély elleni védekezést hatékonyan segítette a földalatti gázcsapolás, mely több évtizeden keresztül üzemszerűen működött. Az első gázlecsapoló berendezést Vasas-bányán 1957-ben létesítették (Radó 1958). A folyamat során a nagy fajlagos metántartalmú telepekből még a művelés megkezdése előtt bányabeli fúrásokból a gáz egy részét zárt csőrendszeren keresztül elszívták, majd a felszínen – csővezetéken eljuttatva a fogyasztókhoz – hasznosították. A medencében öt gázlecsapoló berendezést helyeztek üzembe, összesen 325 Mm^3 metánt szívtak le és részben hasznosítottak.

A mecseki szénbányászatban az első gázkitörés 1894-ben történt a pécsi Schroll-aknán. Az É-i területen az első gázkitörés 1902-ben következett be Szászvár-bánya VIII. szintjén. A gázkitörést sújtólégrobbanás kísérte. A komlói területen Zobák-bányaüzemben 1964-ben a Diagonális-akna mélyítésekor az aknatalpon, 286 m mélységben volt gázkitörés. A mecseki szénbányászatban összesen 574 gázkitörés történt, mely 89 halálos áldozattal járt.

A gázkitörések elleni védekezés során provokációs robbantásokat és/majd védőtelepes művelést alkalmaztak. Az utóbbi során a gázkitörés-veszélyes telep feküjében vagy fedőjében lévő nem gázkitörés-veszélyes telepet lefejtették, melynek hatására a védett telepben a fellazulási zónában a gázkitörés-veszély megszűnt. A gázkitörések oka vágathajtás esetén a vájvég előtt fellépő nagymértékű feszültségtorlódás (Szirtes 1971). A veszélyes feszültség csökkentése előzetes anyagkivétellel, szénkimosatással történt.

A magyarországi bányák minősítése sújtólégveszély szempontjából

A mélyműveléses szénbányák nagy részében a termelés során kisebb-nagyobb metán-felszabadulás ment végbe. Az „Általános bányászati biztonsági szabályzat" (Kovács & Ernei 1982) rendelkezése szerint a bányákat sújtólégveszély szempont-

4. táblázat. Sújtólég szempontjából minősített bányák Magyarországon
Table 4 Mines grouped in classes according to the firedamp hazard, Hungary

Szénmedence	Bánya	Sújtólég-veszélyességi osztály
Borsod, miocén barnakőszén	Lyukóbánya	I.
Dorog–Pilisi eocén barnakőszén	XXI. akna, X. akna, Lencsehegy (1989-ig), Új-ebszőnyi bányák, Reimann-akna, pilisi Szent István-akna	I.
	tokodi Erzsébet-akna, csolnoki X., XII. akna, dorogi XIX. akna	II.
Nógrád, miocén barnakőszén	Szorospatak-bánya	I.
	Kányás-, Ménkes-, Tiribes-bánya	II.
Oroszlány, eocén barnakőszén	A medence valamennyi mélyművelésű bányája (Márkushegyi-bánya, XVI., XVII., XX., XXI., XXII., XXIII. aknák)	I.
Tatabánya–Nagyegyháza–Mány eocén barnakőszén	A medence valamennyi mélyművelésű bányája (XIV., XV/c, Csordakút, Nagyegyháza stb.) a II. osztályú sújtólégveszélyes bányák kivételével	I.
	VII/a., XII. XII/a., XV., XV/a. aknák	II.
Balinka, eocén barnakőszén	Balinkai bányaüzem	I.
Ajka, kréta barnakőszén	Ármin, Jókai, Padrag	I.
Várpalota, miocén lignit	SI., SII. és Bánta-bánya	I.
Mecseki alsó-jura feketek szén	A medence valamennyi mélyművelésű bányája (Pécs, Vasas, Kossuth, Béta, Zobák stb.)	III.

jából minősíteni kell, amennyiben a bánya bármely bányatérségében metán jelenlétére utaló jelenséget észleltek, illetve az előírt légmérés során 0,1%-ot meghaladó arányban metánt mértek. A sújtólégveszélyes bányákat hivatkozott szabályzat 8. § (2) bekezdése alapján I–III. sújtólég-veszélyességi osztályba kell sorolni a (3) bekezdés szerinti meghatározás szerint: a kőszénbánya

a) I. sújtólég-veszélyességi osztályba tartozik, ha a munkanapi fajlagos metánfejlődés bármelyik termelő légosztályban legfeljebb 5 m^3 metán/tonna nyers szén,

b) II. sújtólég-veszélyességi osztályba tartozik, ha a munkanapi fajlagos metánfejlődés bármelyik termelő légosztályban az 5 m^3/tonna nyers szén mennyiséget meghaladja, de legfeljebb 15 m^3 metán/tonna nyers szén,

c) III. sújtólég-veszélyességi osztályba tartozik, ha a munkanapi fajlagos metánfejlődés bármelyik termelő légosztályban 15 m^3/tonnánál nagyobb (nyers szénre).

Fokozottan sújtólégveszélyes a II. és III. osztályú sújtóléges bánya fejtése, fejtési vágata, szénben hajtott vagy széntelepet harántoló külön szellőztetésű bányatérsége. Minden nyitott földalatti bányatérséget megfelelően szellőztetni kell. A szellőztetésre vonatkozó előírások szerint a levegő metántartalma nem haladhatja meg a főkihúzó és légosztálykihúzó légáramban a 0,75%-ot, az áthúzó légáramú fejtésben az 1%-ot, az egyéb áthúzó légáramú vágatban az 1,5%-ot, ill. diffúzióval szellőztetett bányatérségben a 2,5%-ot.

A sújtólég szempontjából minősített bányákat (KOVÁCS & ERNEI 1982; BENKE & REMÉNYI 1996) a *4. táblázat* mutatja.

A szénmedencék tárolt (gas in place) metánkészlete

A magyarországi mélyműveléses szénbányák (illetve szénmedencék) metánvagyonából – a mecseki feketekőszén medence kivételével – csupán bányaszellőztetési adatok/sújtólég-veszélyességi osztályok – állnak rendelkezésünkre. A metánkészlet becslését is ennek alapján végeztük.

Tanulmányunkban becsültük az egyes szénmedencék földtani metánvagyonát (Methane Gas in Place), mely metánkészlet az angolszász szakirodalom szerint „Speculative" kategóriába sorolható. A mecseki feketekőszén medence metánvagyonának ismeretességi foka magasabb, „Hypothetical", de egyes szerzők „Inferred" kategóriába sorolják.

Az egyes szénmedencék „gas in place" metánvagyonának meghatározása (A mecseki feketekőszén medencét külön tárgyaljuk)

A fajlagos tárolt metántartalom becslése:

– A Dorog–Pilisi-medencében a bányászat során tapasztalt metánjelenségek és az I., valamint a II. sújtólég-veszélyességi osztályok alapján 5-10 m^3/t értéket tételeztünk fel.

– A Tatabánya–Nagyegyháza–Mányi-medence esetében bányászati adatok, valamint az I., illetve II. osztályba történő besorolásra tekintettel 8–12 m^3/t metántartalmat valószínűsítettünk.

– Az Oroszlányi-medencében a bányászat során fellépő metánjelenségek és az I. sújtólég-veszélyességi osztály alapján a szén feltételezett fajlagos metántartalma 2–3 m^3/t.

– A bakonyi eocén (oligocén) szénmedencében a már felhagyott Balinkai Bányaüzem az I. sújtólég-veszélyességi osztályba tartozott. Bányabeli szénminta adszorpciós-deszorpciós vizsgálata (LANDIS et al., 2002b) 1,29 cm^3/g Langmuir konstanst mutatott, ezért kereken 1,3 m^3/t fajlagos gáztartalommal számoltunk.

– A bakonyi kréta szénelőfordulásokban a bányabeli metán-jelenségek és az I. sújtólég-veszélyességi osztályba sorolás miatt 2 m^3/t fajlagos metántartalmat tételeztünk fel.

– A bakonyi miocén lignitmedencében a bányabeli megfigyelések és az I. sújtólég-veszélyességi osztály miatt 1–1,3 m^3/t fajlagos metántartalommal számoltunk.

– A nógrádi barnakőszén medence fajlagos metántartalma a bányászat során tapasztalt metánjelenségek és az I., valamint a II. sújtólég-veszélyességi osztályba sorolás alapján 6–12 m^3/t-ban valószínűsíthető.

– A borsodi és ózd-vidéki barnakőszén medencében csak elvétve jelentkezett metán, egyedül csak Lyukóbánya tartozott az I. sújtólég-veszélyességi osztályba. A szén fajlagos metántartalmát 1–2 m^3/t-ra becsüljük.

– A mátra–bükkaljai és nyugat-Magyarországi pannóniai korú lignitterületek megítélésünk szerint nem tartalmaznak szénhezkötött metánt. A korábbi mélyművelésű bányákban (Mátra–Bükkalja: Rózsaszentmárton, Gyöngyöstarján, Tard, Bogács; Nyugat-Magyarország: Torony, Ondód) sújtólég nem jelentkezett.

A Pannon-medencében nagy mélységben is találhatók lignittelepek, melyeket kőolajkutató fúrások harántoltak. A nagy mélység, hőmérséklet és nyomás miatt feltételezhető (bár magyarországi mérési adatok nem állnak rendelkezésünkre), hogy e lignittelepek tartalmaznak szénhezkötött metánt. Érdekes adatokról számol be STEINBAUER (2002) egy tanulmányában, mely szerint a Pannon-medence DNy-i

(horvátországi) részén, a dráva-menti tektonikus árokban a Molve földgázmezőn 1000–2000 m mélységtartományban a lignitben kb. 2 m^3/t fajlagos metánt mutattak ki.

A mecseki feketekőszén medence szénhezkötött metán készlete

A Magyar Geológiai Szolgálat nyilvántartása szerint (MGSz, 2004) a medencében 1100 m mélységig 1597 Mt földtani (*in situ*) szénvagyon szerepel. 1500 m mélységig 3,3 milliárd tonna, a teljes mélységig legalább 4 milliárd tonna szénkészlet valószínűsíthető (l. 2. fejezet). A medencében a földfelszín átlagos tengerszint feletti magassága 300 m.

A Mecseki Feketekőszén Formáció kiterjedése 350–400 km^2, melyből korábban bányászat által igénybe vettek 50 km^2-ert. A szén szempontjából produktívnak tekinthető zóna területe 70 km^2, melyből a korábbi bányászati műveletek mintegy 20–25 km^2-t érintettek. Az ismert (kategorizált) földtani szénvagyon számbavételi feltételei (cut-offs): vastagság ≥ 0,4 m; fűtőérték ≥ 12 560 kJ/kg, behígított meddőközbetelepülések vastagsága ≤ 0,3 m.

A mecseki szén az ASTM (USA) szabvány szerint a high-, medium és low volatile bituminous osztályba tartozik. A földtani (*in situ*) vagyon átlagminősége 19 126 kJ/kg, de a (korábban) termelt szén fűtőértéke a nagymértékű hígulás miatt csupán 11 650 kJ/kg volt.

A mecseki szénhezkötött metán minőségi adatait az *5. táblázat* (SOMOS 1991) szemlélteti:

5. táblázat. A mecseki szénhezkötött metán minőségi adatai
Table 5 Coalbed methane quality, Mecsek Coal Basin, Hungary

CH_4	C^{2+}	H_2	Inerts	CO_2	Heat value (kJ/kg)
95%	0,8%	0,005%	4%	0,8%	36,000

A mecseki feketekőszén medence szénhezkötött metán rezervoárja jelentősen eltér a hagyományos CBM rezervoároktól (FODOR 2002):

– A szén permeabilitása csupán 0,001–0,1 mD, egy tanulmány (RADNAINÉ 1991) egy rendkívül alacsony mérési eredményt (0,00039 mD) is közöl.

– A metántartalom 92–98%-a szorbeált, 2–8%-a szabad gáz formájában van jelen.

– A szén fajlagos szabad felülete 250–300 m^2/g.

– A szén pórusstruktúrája 0,4–0,5 nm átmérőjű molekuláris pórusokból (a metán molekula átmérője 0,42 nm), mikropórusokból (10 nm-ig) és mezopórusokból (10–50 nm) áll.

– A fajlagos metántartalom átlagosan 50 m^3/t (RADNAINÉ 1991; SOMOS 1991; KISS 1995).

– A szénhezkötött metán nyomása a mélység függvényében akár 100 bar is lehet.

– A szén porozitása 1–15% között változik.

A széntelepes összlet rétegei vízzáróak. A szén, a meddő közbetelepülések, a fedő- és fekürétegek nem tartalmaznak vizet. A szén *in situ* nedvességtartalma csupán 0,5–2,0%. A víz nem tud behatolni a molekuláris pórusokba. A felhagyott bányatérségek (Abandoned Mines, GOB areas) viszont bányavízzel telnek meg. Ez a folyamat jelenleg is tart. A vízelárasztás a szén rendkívül kis pórustérfogata, valamint az abban tárolt gáz következtében nem tud behatolni a „szűz" szénrétegekbe.

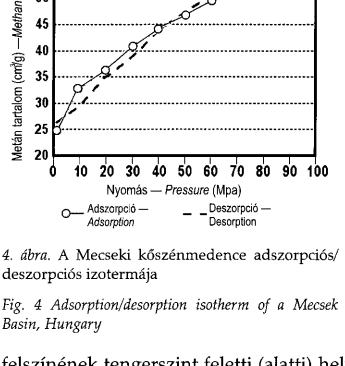
A Mecseki-medence a földtörténet korok során elvesztette tárolt metánkészletének egy részét. A kainozoikum során a denudációval érintett területeken a metán közvetlenül, vagy a konszolidálatlan fedőrétegeken keresztül a légkörbe távozott.

SZIRTES (1971) könyvében számos mérési adatot közöl a széntermelés során felszabaduló metán mennyiségéről, mely 15–80 m^3/termelt tonna között ingadozott, de időnként elérte a 150 m^3/t értéket is. Adatai fontos információt szolgáltattak az (akkori) bányaszellőztetés tervezéséhez, de nem tükrözték a szénben elhelyezkedő szabad + szorbeált metán mennyiségét.

A GEOPARD Kft. (RADNAINÉ 1991) vizsgálatai alapján átlagosan 50 m^3/t szénhezkötött metánt becsült. Ezt szemlélteti a *4. ábrán* látható adszorpciós/ deszorpciós görbe [RADNAINÉ in SOMOS (1991)] Számos laboratóriumi vizsgálat is hasonló eredményre vezetett.

Az elméletileg feltételezhető földtani metánvagyon (gas in place) 4 milliárd tonna földtani szénvagyont feltételezve 200 milliárd m^3-t tesz ki.

A mecseki feketekőszén medence szénhezkötött metán meghatározására korábban is végeztek becsléseket: SOMOS (1991), KISS (1995), LANDIS et al. (2002a, b), FODOR (2005).



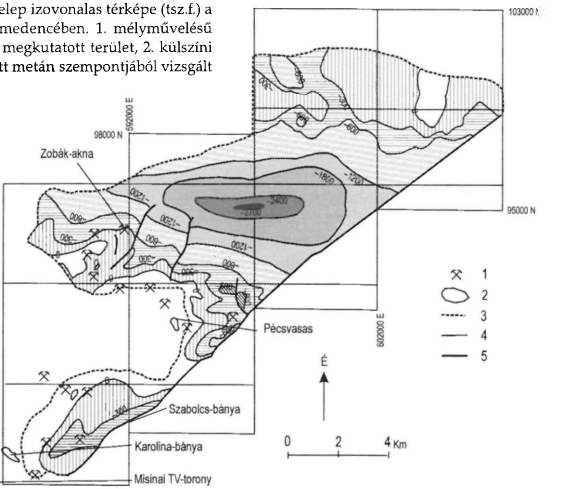
4. ábra. A Mecseki kőszénmedence adszorpciós/ deszorpciós izotermája

Fig. 4 Adsorption/desorption isotherm of a Mecsek Basin, Hungary

KISS (1995) tanulmánya a 70 km^2-es területen 149,6 milliárd m^3 földtani metánvagyont közöl. A bányaszellőztetési adatok alapján a szén metántartalmát 75 m^3/t-ban határozta meg. Ezt a fajlagos értéket – helyesen – a kitermelhető szénvagyonra vetítette. (CMM). E metánvagyonnak csak akkor lenne létjogosultsága, ha a teljes medence szénvagyonát lefejtenék, amire nincs reális esély.

LANDIS et al. (2002a, b) publikációjának a metánvagyonra vonatkozó része SOMOS 1991. évi tanulmányán alapul. LANDIS és munkatársai felhasználták hivatkozott tanulmány szintvonalas térképeit, melyek a legfelső széntelep felszínének tengerszint feletti (alatti) helyzetét ábrázolták. Egy összefoglaló jellegű szintvonalas térképet szemléltet az *5. ábra* (LANDIS et al. 2002a, b).

SOMOS (1991) tanulmányában 39 m^3/t kitermelhető gázvagyonnal (összesen 112,9 milliárd m^3) számolt, túlzott, 0,78-as kihozatali tényezőt feltételezve. LANDIS és munkatársai 50 m^3/t gas in place fajlagos metántartalommal számította vissza a földtani szénvagyont (a 112,9 milliárd m^3 gázból), majd ebből a nem pontos földtani vagyonból vont le következtetéseket. A Karolina-bánya és a Vasas-bánya külfejtéséből szénmintákat vettek, melyeket adszorpciós vizsgálatoknak vetettek alá. A Langmuir konstans a Karolina-bánya esetén 18,26 cm^3/g-ra, a Vasas esetén 20,74 cm^3/g-ra adódott. Ezek a szénminták a felszín közeléből származtak, nem tekinthetők reprezentatívnak a mecseki feketekőszén medence szempontjából.



5. ábra. A legfelső széntelep izovonalas térképe (tsz.f.) a mecseki feketekőszén medencében. 1. mélyművelésű bánya, mélyművelésre megkutatott terület, 2. külszíni fejtés, 3. a szénhezkötött metán szempontjából vizsgált terület határa, 4. a szintvonal tengerszint feletti magassága (m), 5. vető. A színek a tengerszint alatti mélységközöket jelölik.

Fig. 5 Structure contour map on the uppermost coal seam of the Mecsek Coal Formation. 1 Underground mine or prospect 2 Surface mine 3 Limit of Coal Bed Methane study area 4 Structure contour, in metres with respect to sea level 5 Fault. Colours represent equal ranges in depth relative to sea level.

Továbbá feltételezték, hogy a kőszéntelepekben hidrosztatikai nyomás uralkodik, holott sem a széntelepekben, sem a kísérő kőzetekben nincs víz. A számított 27,9 milliárd m^3 földtani szénhezkötött metánvagyon alábecsült.

A SOMOS-féle, általunk módosított (FODOR 2005) tanulmány: (SOMOS 1991) több mint 200 szénkutató fúrás felhasználásával (a szénre produktív) 70 km^2-es területre megszerkesztette a legfelső széntelep felszínének izovonalas térképét. A térkép felhasználásával, a *6. táblázat*ban közölt paramétereknek megfelelően készítette el a kitermelhető szénhezkötött metán készletszámítását, melynek eredménye 112,9 milliárd m^3 volt. SOMOS számításait revidiálva meghatároztuk a szénhezkötött földtani metánvagyont (*7. táblázat*).

6. táblázat. A metán-készletszámítás fő paraméterei (SOMOS 1991.)
Table 6 The main parameters of the coalbed methane resource calculation (SOMOS 1991.)

A széntelepek függőleges összvastagsága	30 m
A szén térfogatsűrűsége	1,5 t/m^3
A szén gáztartalma (in place)	50 m^3/t
A kitermelhető gáztartalom	39 m^3/t
A letermelt (GOB) területek gáztartalma	16 m^3/t

7. táblázat. A szénhezkötött metán revidiált földtani készlete
Table 7 Recalculated coalbed methane gas in place

Szabad és szorbeált gáz	132,0 milliárd m^3
GOB térségek gázvagyona	10,6 milliárd m^3
Összes földtani (gas in place) gázvagyon	142,6 milliárd m^3

A kitermelhető gázvagyon számítása

A rezervoárok megtalálásának valószínűsége 50%; a megtalált rezervoárok kihozatali tényezője 0,4 (TÓTH J. szóbeli közlése), így a teljes kihozatali tényező 0,2. A mecseki feketekőszén medencére

így 28,5 milliárd m^3 kitermelhető gázvagyont kaptunk. A kihozatali tényező természetesen függ az alkalmazott termelési technológiától, így az a jövőben változhat.

Magyarország többi szénmedencéjénél is – jelenlegi ismereteink szerint – a 0,2-es kihozatali tényező alkalmazását javasoljuk.

Magyarország szénmedencéinek földtani metánvagyona

Az egyes szénmedencék prognosztizált földtani (gas in place) szénhezkötött metánvagyonát a *8. táblázat* szemlélteti.

A táblázatból kitűnik, hogy a magyarországi szénmedencék összes földtani CBM vagyona mintegy 152–159 milliárd m^3, mely majdnem eléri a hazai konvencionális földgáz mennyiségét (176,5 milliárd m^3). A szénhezkötött metán 90–94%-a a mecseki feketekőszén medencében található. Hangsúlyozzuk, hogy a közölt metán-

8. táblázat. Magyarország szénhezkötött metánvagyona szénmedencék szerint
Table 8 Coalbed methane resources in place in the Hungarian coal basins

Szénmedence	Földtani szénvagyon (Mt)	Fajlagos metántartalom (m^3/t)	Földtani (gas in place) metánvagyon (milliárd m^3)
Mecsek*	3300	50, (GOB: 16)	142,6≈143
Dorog–Pilis	426	5–10	2–4
Tatabánya–Nagyegyháza–Mány	427	8–12	3–5
Oroszlány	157	2–3	0,3–0,5
Bakony, eocén (oligocén)	177	1,3	0,2
Bakony, miocén lignit	294	1–1,3	0,3–0,4
Bakony, kréta	366	2	0,7
Nógrád	211	6–12	1,3–2,5
Borsod–Ózd	1153	1–2	1,1–2,3
Mátra–Bükkalja, Ny-Magyarország, pannóniai lignit	5812	n.a.	n.a.
Összesen	12323		151,9–158,6

*Mecsek: 1500 m mélységig, n.a.=nincs adat, valószínűleg nulla

készlet adatok jelenlegi ismereteinket tükrözik. Szükségesnek véljük a jövőben az egyes szénmedencékben mélyült, még meglevő (pl. vízszint megfigyelésre használt) fúrások metánra történő szisztematikus vizsgálatát.

A szénhezkötött metán hasznosítására vonatkozó kezdeményezések, a továbblépés lehetőségei

A magyar szénbányászatban – a Mecsek hegység kivételével – nem történt szénhezkötött metán hasznosítás, és nem folytak annak kiaknázására kísérletek sem. A mecseki eredményes földalatti gázlecsapolásról (földalatti fúrások) már korábban tettünk említést.

A külszíni fúrásokkal történő gázlecsapolási kísérletek a Mecsek hegységben

Az első mélyfúrásos kísérlet a Mázа-Dél-i szénterületen történt 1980-ban. A fúrás mélysége 1000 m, a termelő béléscső átmérője 7″ volt. A harántolt széntelepeket perforálták, majd a kőolaj- és földgáziparban alkalmazott technológia szerint édesvízi hidraulikus rétegrepesztést, majd homokkal történő kitámasztást végeztek. A kísérlet nem járt eredménnyel.

1993–1994-ben további mélyfúrásos kísérleteket végeztek. Három kútban folyékony széndioxidos rétegrepesztést és homokkitámasztást, a negyedik kútban nyitott üreges technológiai eljárást alkalmaztak. Ezek a kísérletek is negatív eredménnyel végződtek. (KISS 1995)

A külszíni fúrások sikertelenek voltak, azonban a bányászat során spontán és földalatti fúrásokkal jelentős mennyiségű metán szabadult fel.

A bányászati tevékenységek következtében másodlagos (szekunder) feszültségállapot jött létre (FODOR 2002). A fejtési homlok előtt jelentős feszültségnövekedés (áthárított nyomás) és nyomásgradiens alakult ki. A feszültségátrendeződés következtében a szén és a kísérő kőzetek a fejtési homlok előtt kb. 10 m-es körzetben fellazultak. A fellazulás/tönkremenetel a szén permeabilitását kb. 2–3 nagyságrenddel megnöveli, megnyitja a repedéseket, ezáltal növeli a metán deszorpcióját. Ez a folyamat térben és időben szoros összefüggésben van a mélyműveléses bányászattal. A mecseki feketekőszén medencében a mélyműveléses bányászat során a szénből számottevő mennyiségű metán szabadult fel, a földalatti gázlecsapoló fúrások – védőtelepes fejtésekkel kombinálva – sikeresek voltak. A bányaműveletek (pl. frontfejtések) kiváló stimulátorok a metántermelés szempontjából. A külszíni fúrásokban alkalmazott növelt hatékonyságú módszerek (folyékony széndioxidos rétegrepesztés, homokkitámasztás, nyitott üreges kútkiképzés) nem vezettek eredményre a szén belső tulajdonságai és a rendkívül magas *in situ* kőzetfeszültség következtében. A kísérleti kutak gázlecsapolási területe a szén alacsony permeabilitása és a kis pórusméret miatt kis kiterjedésű volt. A hatékony, külszíni fúrásokból történő gázlecsapolás érdekében a hagyományostól eltérő stimulációs módszereket kell kifejleszteni, illetve alkalmazni.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton fejezem ki köszönetemet Dr. KISS József és KOVÁCS Endre lektoraimnak hasznos kritikájukért és tanácsaikért.

Irodalom – References

BARKER, C. E. 1996: The Geology of Coal Bed Gas: The perspective from coal and thermal history studies. – U.S. Geological Survey, Denver, Colorado. 125 p.

BELLÁNÉ PELSŐCZI M. 1992: Szénkőzetek. – In: BALOGH K. (szerk.): Szedimentológia III. Akadémiai Kiadó.

BENKE I. & REMÉNYI V. (Szerk.) 1996: A magyar bányászat évezredes története II. kötet. – Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, 752 p.

LANDIS, E. R., ROHRBACHER, T. J. BARKER, C. E., FODOR & GOMBÁR G. 2002a: Coalbed Gas in the Mecsek Basin, Hungary. Coalbed Methane Resource Potential in Hungary. – A Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002., Budapest-Pécs, Hungary. CD-ROM, OFG Adattár

LANDIS, E. R., ROHRBACHER, T. J. BARKER, C. E., FODOR & GOMBÁR G. 2002b.: Coalbed Gas in Hungary. – A Preliminary Report. USGS Open File Report 01-473, Version 1.0, 2002. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey CD-ROM, OFG Adattár

LANDIS, E. R., ROHRBACHER, T. J. BARKER, C. E., FODOR & GOMBÁR G. 2003: Coalbed gas in the Mecsek Basin, Hungary. – *International Journal of Coal Geology* **54**, 41–55.

FODOR, B. 2002: A possible technical solution for methane production from low permeability coal seams. Coalbed Methane Resource Potential in Hungary. – Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002., Budapest-Pécs, Hungary. CD-ROM, OFG Adattár

FODOR, B. 2005: Coalbed gas estimation, Mecsek Coal Basin. – Manuscript. Review pp. 48–56.

FÜCHTBAUER, H. (ed.) 1988: Sedimente und Sedimentgesteine. – Stuttgard, Schweizerbarische Verlagbuchhandlung, 1141 p.

HARRIS, B. T., ALLISON, M. F., KNOX L. M. & RAMOS, E. E. 1990: Amoco Coal Degas Review Worldwide New Ventures. – Manuscript. 78 p. OFG Adattár.

HARTAI É. 2004: Teleptani alapismeretek (Alkalmazott földtan I.). – Miskolci Egyetem, Földtan-Teleptani Tanszék 57 p.

ICF Resources Incorporated 1992: Coalbed Methane Gas: A low cost energy supply for Hungary. – Manuscript. 94 p. Mecseki Bányavagyonhasznosító Rt. Adattár

KISS J. 1995: A mecseki gázlecsapolás történeti áttekintése és a fúrólyukas gázfeltárás lehetőségeivel kapcsolatos kutatások. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketekőszén kutatása és bányaföldtana. – *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből* VII. Miskolci Egyetem, 317–331.

KISS J. 2002: A Mecseki Feketekőszén Medence metángáz vagyona. Coalbed methane Resource Potential in Hungary. – Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002., Budapest-Pécs, Hungary. CD-ROM OFG Adattár

KOVÁCS M. & ERNEI L. (Szerk.) 1982: Általános bányászati biztonsági szabályzat. – Országos Bányaműszaki Főfelügyelőség, Népszava Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 306 p.

Methane Master Kft. 1994: Kutatási jelentés a mecseki kőszénelőforduláshoz kötött metángáz külszínről, fúrólyukkal történő lecsapolásának technológiai kutatására és a gazdaságos kitermelés paramétereinek meghatározására. – Pécs, OFG Adattár,. 203 p.

MGSZ (Magyar Geológiai Szolgálat) 2004: Tájékoztató Magyarország 2004. I. 1-jei helyzet szerinti ásványi nyersanyag-vagyonáról. – Budapest, 283 p.

NÉMEDI-VARGA Z. 1995: A mecseki feketekőszén-telepek szénülési viszonyai. – In: NÉMEDI-VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketekőszén kutatása és bányaföldtana, *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből* VII. Miskolci Egyetem.), 283–302

RADÓ A. 1958: A vasasi üzemszerű gázlecsapolás. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* **91/8–9**, 546–558.

RADÓCZ Gy. 1983: Magyarország kőszén-előfordulásai. – *MÁFI Évi Jelentése* **1983**, 63–75

RADNAINÉ GYÖNGYÖS Zs. 1991: A mecseki szenek szerkezetének szerepe a gázkitörések kialakulásában. – Kandidátusi értekezés. 125 p.

SOMOS, L. 1991: Coalbed Methane Fuel in Mecsek Mountains. – Pre-Bid Documentation, Ministry of Industry and Trade, 42 p. OFG Adattár

STEINBAUER, V. 2002: Exploration the coal bed gas in pre-existing deep gas wells above the gas field Molve (Podravina, Croatia). – Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002., Budapest-Pécs, Hungary. CD-ROM, OFG Adattár

SZIRTES L. 1971: Szén- és gázkitörések leküzdése. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 323 p.

VADÁSZ E. 1952: Kőszénföldtan. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 180 p/

Kézirat beérkezett: 2006. 04. 03.

Földtani Közlöny 136/4. 591–598. (2006) Budapest

Web-alapú modális elemzési értékelő program (MACALC)

MACALC: A program for supporting modal analysis of rocks

ALMÁSI Béla[1] – CSÁMER Árpád[2] – FARKAS János[3] – RÓZSA Péter[2]

(3 ábra)

Tárgyszavak: mikroszkópia, ROSIWAL-féle módszer, Web-szolgáltatás, Web-programozás
Keywords: microscopy, ROSIWAL's method, Web services, Web programming

Abstract

Modal analysis is a basic petrographic practice for the determination of the mineralogical composition and grain-size distribution of rocks. Amongst the techniques of modal analysis the authors regard the modified Rosiwal's method of measuring along lines as the optimal one. The software tool Modal Analysis Calculator (MACALC) which is introduced in this paper evaluates computational recorded data. It gives the minimal measuring length for the required accuracy and compiles tables for representing the results of the measurement. The program works as a World Wide Web (WWW) service: beside internet-access only a web browser is necessary to use it.

Összefoglalás

A modális elemzés kőzetek ásványos és szemcsenagysági összetétele meghatározásának alapvető petrográfiai módszere. A különféle eljárások közül a szerzők a módosított ROSIWAL-módszert tekintik az optimális technikának. Az itt bemutatott Modal Analysis Calculator (MACALC) a számítógépen rögzített mérési adatok kiértékelésének megkönnyítésére készült. Megadja a megkívánt pontossághoz szükséges minimális mérési hossz nagyságát, s az eredményeket táblázatos formában közli. A program web-szolgáltatásként működik, használatához csupán internet-hozzáférés és egy web-kereső megléte szükséges.

Bevezetés

A modális elemzés a kőzettani gyakorlatban az egyik leggyakoribb és legrutinszerűbb mikroszkópos mérés. A módszer használatával meghatározható a kőzetalkotó ásványok relatív mennyisége, valamint a kőzet (esetleg valamely kőzetalkotó) szemcsenagysági eloszlása.

Az első modális elemzési eljárást DELESSE dolgozta ki (DELESSE 1848). Módszerének alapja a később róla elnevezett DELESSE-reláció, amely szerint egy bizonyos ásvány által elfoglalt terület úgy aránylik a teljes területhez, mint az adott ásvány térfogata a teljes térfogathoz.

[1]Debreceni Egyetem, Informatikai Rendszerek és Hálózatok Tanszék, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. (almasi@inf.unideb.hu)
[2]Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. (rozsap@puma.unideb.hu)
[3]Debreceni Egyetem, Információtechnológiai Tanszék, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. (farkasj@inf.unideb.hu)

ROSIWAL (1898) dolgozta ki a vonalmenti mérés módszerét. Ennek lényege, hogy kellő hosszúságú vezető mentén történő mérés esetén egy adott ásvány által lefedett hossz és az összhosszúság között megközelítőleg olyan arány áll fenn, mint az ásvány térfogata és a kőzet össztérfogata között. A ROSIWAL-elvet alkalmazta SHAND (1916) adatrögzítő mikrométer asztalának, azaz az első integrációs asztal megalkotása során.

A legutóbbi, úgynevezett pontszámlálási modális elemzési mérési elvet THOMSON (1930) dolgozta ki, a megfelelő berendezés megalkotása pedig GLAGOLEV (1933) nevéhez fűződik. Az általa megalkotott pontszámláló berendezés – az integrációs asztal mellett – a modális elemzés mind a mai napig leggyakrabban használt berendezésének tekinthető.

A fenti modális elemzési módszereket CHAYES (1956), TEXTORIS (1971), legutóbb pedig JÁRAI et al. (1997) tekintették át. Megállapításuk szerint bármely modális elemzési módszerrel szemben három követelmény támasztható: (1) a megfelelő pontosság, (2) az egyszerűség, és (3) a gyorsaság. Egyetértve JÁRAI et al. (1997) véleményével, mi a ROSIWAL-féle módszert tekintjük a modális elemzés optimális eljárásának. Alkalmazása nem kíván különleges mérő és adatrögzítő berendezést (a minimális föltétel mindössze egy mikrométer okulár), ráadásul a kőzetalkotó ásványok relatív mennyisége, valamint szemcsenagysági összetétel egyazon mérési sorozat során meghatározható. Az alkotók vezetővonalra eső hossza egyenként is meghatározható, s így – kellő hosszúságú mérés esetén – az egyes ásványok szemcsenagyság-eloszlása külön-külön is megadható (KOZÁK 1979; Rózsa & PAPP 1989; JÁRAI et al. 1997).

A mérés megbízhatósága

A módszer megbízhatóságának, illetve a kívánt pontosság elérése kérdésének elemzésével kapcsolatban több közlemény is született (JÁRAI et al. 1993, 1997). A legfontosabb megállapítások a következőkben foglalhatók össze. Alapesetként az ásványszemcsét tekintsük általános és szabálytalan alakúnak, ahol a szemcse jellemző átmérője a vele ekvivalens térfogatú gömb átmérőjével azonos. Az alkotók mennyiségi meghatározását a vékonycsiszolat d távolságra levő, párhuzamos, összesen h hosszúságú vezetővonalai mentén történő méréssel végezzük. Az egy alkotóra eső összes mért hossz legyen k. Így, célszerű feltevések mellett, a k/h arány az adott alkotó p térfogataránya körül ingadozik valamely σ^2 szórásnégyzetű normális eloszlással. A σ^2-re

$$\sigma^2 = \frac{C}{h} \tag{1}$$

összefüggést kapjuk, ahol C a h-tól nem, viszont d-től és p-től, vagyis a kérdéses alkotók szemcséinek nagyság és irány szerinti eloszlásától függő konstans. A mért ásványos alkotók észlelt keresztmetszeteit tetszőleges választható szemnagysági intervallumokba sorolhatjuk. A j-edik frakcióba tartozó szemcsék maximális átmérőjét jelölje d_j, az összes anyaghoz viszonyított maximális arányát pedig p_j. Ekkor:

$$C \leq \sum_{j=1}^{m} p_j d_j \tag{2}$$

A p értéke 1–δ biztonsággal és ± Δp hibával meghatározható, ha a mikroszkópi mérést legalább

$$h = C\left(\frac{a}{\Delta p}\right)^2 \tag{3}$$

összhosszúságban elvégezzük, ahol az a-t a

$$1 - \Phi(a) = \frac{\delta}{2} \tag{4}$$

egyenletből határozhatjuk meg. A

$$\Phi(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a} e^{\frac{-x^2}{2}} dx \tag{5}$$

függvény néhány értéke pedig:

a	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
$\Phi(a)$	0,6915	0,8413	0,9332	0,9772	0,9938	0,9986	0,9997

Ha csupán korlátozott mennyiségű anyag áll rendelkezésünkre, vagyis a h értéke nem növelhető bizonyos határon felül, akkor h esetén a mérés megbízhatósága a ± Δp és a δ számításával megadható.

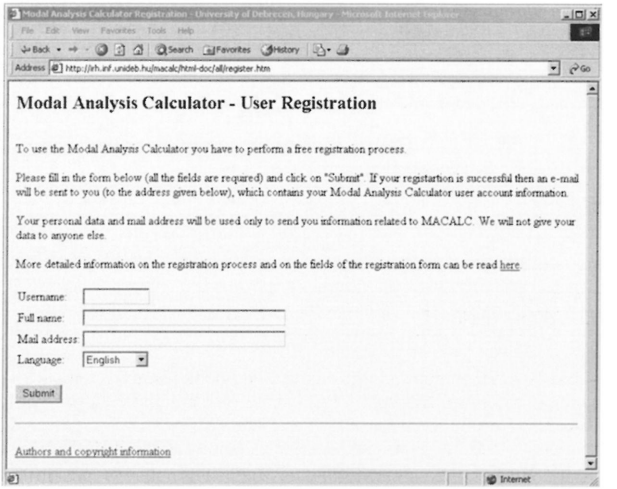
Az ásványos és a szemcsenagysági összetétel szimultán meghatározása esetén a módszer hátránya a nagy mennyiségű „papírmunka". Ennek kiküszöbölésére kézenfekvő megoldás a számítógépes adatrögzítés és kiértékelés (TÓTH et al. 2003). A Modal Analysis Calculator (MACALC) lehetővé teszi a számítógépen rögzített adatok kiértékelését, az adatok megadott szempontok szerinti válogatását és rendezését, s az eredményeknek táblázatok formájában való összegzését. Bizonyos paraméterek változtatásával, a számítások a fölhasználó igényei szerint módosíthatók.

A program leírása

Belépés

A MACALC szoftver bármely web kereső program (Internet Explorer 5.0, Netscape Navigator 4.8, Konqueror 3.0 stb.) segítségével elérhető web-alapú program. Használata nem kíván semmilyen különleges föltételt, még a szoftver telepítésére sincs szükség. Honlapjának címe: *http://irh.inf.unideb.hu/macalc*. A program használata a név és e-mail cím megadásával történő ingyenes regisztrációt követően történhet (*1. ábra*). A sikeres regisztráció után a felhasználó e-mailben kapja meg személyes MACALC web oldalának adatait (cím, felhasználói név, jelszó). A bejelentkezés után a jelszó megváltoztatható.

A számítás indításához az input MACALC fájl specifikálása szükséges (lásd később). Maga a MACALC fájl egy egyszerű szövegfájl, ami tartalmazza a mérési adatokat, valamint néhány egyéb paramétert (pontosság, megnevezések, kategóriahatárok stb.). Az input fájlt a fölhasználó gépén kell elkészíteni, s arról kell a szolgáltató szerverre tölteni. Az input fájl mérete nem haladhatja meg a 100 ezer bájtot, ám a gyakorlatban ez nem lényeges korlátozás, hiszen 100 kilobájt több



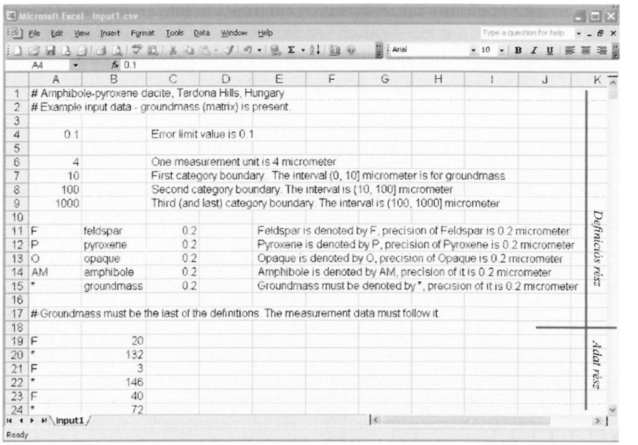
1. ábra. A Modal Analysis Calculator web-szolgáltatás regisztrációs ablaka

Fig. 1 The registration window of the Modal Analysis Calculator WWW service

mint 10 ezer mérési adat tárolását teszi lehetővé. Az input adatfájlt a program ellenőrzi, s probléma esetén hibaüzenetet küld, a számítás befejeztével pedig egy output fájt készít, ami a grafikus megjelenítéshez közvetlenül betölthető különféle táblázatkezelő programokba. Az output üzenet alapértelmezettként angol nyelvű, de a magyar nyelvű megjelenítés is választható. A számítás megkezdését követően az eredmények néhány másodperc múlva megjelennek a képernyőn.

Az input fájl

A MACALC input fájl egy egyszerű szövegfájl, amely soronként egy vagy több, pontosvesszővel (';') elválasztott értéket tartalmaz. Ez az úgynevezett CSV (Comma Separated Value) fájlformátum, amit az általánosan elterjedt táblázatkezelők közvetlenül képesek olvasni és írni, de egy közönséges ASCII szövegszerkesztő is alkalmas ilyen típusú fájl generálására. (Megjegyzendő, hogy a CSV formátum nevében szereplő 'comma'(=vessző) szó a valós alkalmazásokban a pontosvesszőre utal.) A fájlon belül a kettős keresztttel ('#') vagy pontosvesszővel (';') kezdődő sorok kommentárt tartalmaznak; ilyenek, pontosvesszővel elválasztva, az adatsorokban is lehetnek. A felhasználó az input fájl bármely részében tetszőleges számú üres sort is hagyhat. Az input fájl két fő részből áll. Az elsőt „definíciós résznek", a másodikat „adat résznek" nevezhetjük (2. *ábra*).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	# Amphibole-pyroxene dacite, Tardona Hills, Hungary										
2	# Example input data - groundmass (matrix) is present										
3											
4	0.1		Error limit value is 0.1								
5											
6	4		One measurement unit is 4 micrometer								
7	10		First category boundary. The interval (0, 10] micrometer is for groundmass								
8	100		Second category boundary. The interval is (10, 100] micrometer								
9	1000		Third (and last) category boundary. The interval is (100, 1000] micrometer								
10											
11	F	feldspar	0.2		Feldspar is denoted by F, precision of Feldspar is 0.2 micrometer						
12	P	pyroxene	0.2		Pyroxene is denoted by P, precision of Pyroxene is 0.2 micrometer						
13	O	opaque	0.2		Opaque is denoted by O, precision of Opaque is 0.2 micrometer						
14	AM	amphibole	0.2		Amphibole is denoted by AM, precision of it is 0.2 micrometer						
15	*	groundmass	0.2		Groundmass must be denoted by *, precision of it is 0.2 micrometer						
16											
17	# Groundmass must be the last of the definitions. The measurement data must follow it										
18											
19	F	20									
20	*	132									
21	F	3									
22	*	146									
23	F	40									
24	*	72									

2. *ábra.* Példa az MS-Excelben megnyitott CSV formátumú input fájlra

Fig. 2 Example for CSV input file format opened by MS-Excel

A definíciós rész a mérésre, a számításra és a mintára vonatkozó adatsorokat tartalmazza. Ezek az adatsorok a következők:

– Az első sorban adjuk meg a hibahatárt, azaz a 'delta' értéket, ami a minimálisan szükséges mérendő hossz kiszámításához szükséges.

– A második sorban a mérési egységnek fizikai egységre történő átszámításához szükséges arányszámot határozzuk meg (pl. egy beosztás mikrométerben kifejezett értéke).

– A következő néhány sorban a szemcsenagyság-összetételi kategóriahatárokat definiáljuk; kategóriánként külön sorba írva. Ha az alapanyagot (mátrixot) külön mérjük, az első kategóriahatár-érték az alapanyag szemcsenagyság kategóriahatárát fogja jelenteni. A kategóriahatárok megadásánál a fizikai egységek használata szükséges.

– Ásványok. Az egyes ásványokat soronként kell definiálnunk, megadva rövidítésüket, teljes nevüket, a mérési pontosságot (ebben a sorrendben). A pontosság megadása a minimálisan szükséges mérési hossz kiszámításához szükséges.

– Elválasztó/alapanyagot definiáló sor. Ha nem definiálunk alapanyagot, akkor e sor csupán a definíciós és az adatrész elválasztására szolgál. Ez esetben a sor '*' karakterrel kezdődik, amit – mint más sorok esetében – pontosvesszővel elválasztva megjegyzések követhetnek. Ha alapanyagot kívánunk mérni, akkor e sort az alapanyag definiálására használjuk, pontosan úgy, ahogy az ásványos alkotók esetében. Az egyetlen megkötés az, hogy az alapanyag rövidítésére a '*' karaktert kell alkalmaznunk.

Az input adat része tartalmazza a mérési adatokat, valamint a mérési egységek esetleges változásait.

– A mérési adat az adott ásványra vonatkozó rövidítést, valamint a mért értéket tartalmazza. Egy sorban csak egy mérési adat lehet.

– A mérési egység változtatása. Alapértelmezésben a mérési érték mérési egységben van megadva. Az egység megváltoztatása paranccsal a mérési adatsorok minden egységét az itt megadott szorzó szerint fogja a program számolni. Ez a felhasználó számára hasznos lehet például akkor, ha a mérés közben változtatni kell a nagyításon. A mérési egység megváltoztatását jelző sor a 'unit' szóval kezdődik, s ezt követi a megváltoztatott érték.

Az output fájl

A MACALC számítás a számítási oldal 'Start' gombjának lenyomásakor kezdődik. Amennyiben az input fájl hibát tartalmaz, az error log fájl jelenik meg. A hibaüzenet az input fájl hibás sorának számával kezdődik, amit a hiba típusának megadása követ. Néhány, a fájl elején lévő hiba további hibákat generálhat, ezért tanácsos az első néhány hiba kijavítása után újraindítani számítást. A program csak a teljes mértékben hibátlan input fájlt fogadja el!

Az output eredmények megjelenítése néhány másodpercet vesz igénybe. A CSV formátumú MACALC output fájl három táblázatot tartalmaz (*1. táblázat*). Az első kettő az ásványos összetételre és szemcsenagyság-eloszlásra vonatkozó eredményekre vonatkozik Az első táblázat az eredményeket fizikai egységben, a második százalékban adja meg. A harmadik táblázat az input adatokból az egyes ásványos összetevőkre, valamint (ha van) az alapanyagra számított, néhány statisztikai paramétert tartalmaz. A program a statisztikai adatokat fizikai egységekben adja meg. Mivel a mérések fizikai egysége valamilyen mérési hosszúságértékre vonatkozik, az alábbiakban a lineáris mérési terminológiát fogjuk használni. A számított statisztikai adatok a következők:

– A teljes mért hossz.
– Középérték (a mért hossz és a mérések számának hányadosa).
– Minimális és maximális mért hossz.
– Adott alkotó esetében mért hossz.
– A mért hossz szórása.
– A mért hossz felső és alsó határa (középérték és szórás összege, illetve különbsége).
– A mérendő hossz (a megadott hibahatár és pontosság eléréséhez szükséges még mérendő hosszúság).

Ha nincs alapanyag definiálva, akkor az alapanyagra vonatkozóan nem jelenik meg adat. Előfordulhat, hogy értelmezhetetlen eredményt kapnánk (például negatív alsó határ), vagy nincs elég adat valamely statisztikai paraméter kiszámításához. Ilyen esetekben a szoftver a cellába írt speciális jelöléssel (ez az angol nyelvű honlap esetében 'N/A') figyelmezteti a felhasználót.

A CSV fájlok input és output alkalmazása lehetővé teszi, hogy táblázatkezelőket használjunk az input fájl szerkesztésére, az output fájl megtekintésére és módosítására, valamint diagramok szerkesztésére, például Sun's OpenOffice Calc, Microsoft Excel, GNUPlot vagy a Ternplot (MARSHALL 1996) segítségével. A CSV formátum egyszerűségének köszönhetően a különféle szövegszerkesztőkkel (például

1. táblázat. Példa az MS-Excelben megnyitott CSV formátumú output fájlra
Table 1 Example for CSV output file format opened by MS-Excel

Groundmass is defined						
Size distribution						
Minerals	feldspar	pyroxene	opaque	amphibole	groundmass	Sum
<=10	0	0	0	0	87276	87276
(10, 100)	4680	1332	824	128	0	6964
(100, 1000)	37100	5284	632	7604	0	50620
>1000	11528	0	0	9600	0	21128
Sum	53308	6616	1456	17332	87276	165988
Size distribution						
Minerals	feldspar	pyroxene	opaque	amphibole	groundmass	Sum
<=10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	52.58%	52.58%
(10, 100)	2.82%	0.80%	0.50%	0.08%	0.00%	4.20%
(100, 1000)	22.35%	3.18%	0.38%	4.58%	0.00%	30.50%
>1000	6.95%	0.00%	0.00%	5.78%	0.00%	12.73%
Sum	32.12%	3.98%	0.88%	10.44%	52.58%	100%
Mineral statistics						
Minerals	feldspar	pyroxene	opaque	amphibole	groundmass	
Length measured	53308	6616	1456	17332	87276	
Mean	219.374	127.231	56	666.615	274.453	
Minimum	12	12	12	40	8	
Maximum	3012	680	316	2132	1820	
Range	3000	668	304	2092	1812	
Std Dev	339.236	140.571	68.67	584.455	228.293	
Lower limit	N/A	N/A	N/A	82.161	46.159	
Upper limit	558.611	267.802	124.67	1251.07	502.746	
Length to be measured	211810.254	715642.11	2002732.421	367754.14	20344.789	

emacs, joe, Microsoft Word vagy Microsoft Notepad) is létrehozhatjuk és megtekinthetjük az input és output fájlokat.

Következtetések

A klasszikus ROSIWAL-féle modális elemzési eljárást mind a mai napig széles körűen használják a kőzettani gyakorlatban (lásd például SAROCCHI & MACÍAS 2004; SAROCCHI et al. 2005), és különféle építőanyagok vizsgálata során (lásd például ELSEN 2000). A módszer használatával a kőzetalkotók relatív mennyisége, valamint a szemcsenagyság-összetétel egyazon méréssorozattal meghatározható. A módszer további előnye, hogy alkalmazásához mindössze egy mikrométer okulár szükséges. A módszer hátránya, hogy a kellő pontosságú mérés elvégzéséhez hosszú vezetővonalat kell mérnünk, s a mérés, valamint az eredmények összegzése és értékelése jelentős „papírmunkát" kíván, s viszonylag hosszú időt vehet igénybe.

Az itt bemutatott MACALC szoftver lehetővé teszi a mérések számítógépes értékelését: a megadott szemcsenagysági kategóriák, valamint ásványos alkotók szerint válogatja és rendezi az adatokat, s a végeredményt három táblázatban foglalja össze. A MACALC web-szolgáltatásként működő szoftver, igénybevételének minimális föltétele csupán internet-hozzáférés és valamely web-kereső megléte. Extrém nagy fájlok kivételével, az input adatokat a program nagyon rövid idő alatt értékeli, ezért használata nemcsak a legújabb gyors, hanem a régebbi, lassúbb gépeken sem okoz problémát.

Köszönetnyilvánítás

A munka az OTKA T046579 számú kutatásának támogatásával készült.

Irodalom – References

CHAYES, F. 1956: Petrographic Modal Analysis. – John Wiley & Sons, New York, 113 p.

DELESSE, A. 1848: Procédé méchanique pour déterminer la composition des roches. – *Annales Des Mines* **13/4**, 379–388.

ELSEN, J. 2000: Automated air void analysis on hardened concrete. Results of a European intercomposition testing program. – *Cement and Concrete Research* **31**, 1027–1031.

GLAGOLEV, A. A. 1933: On the geometrical methods of quantitative mineralogical analysis of rocks. – *Trans. Inst. Econ.Mineral.* **59**, Moscow, 47 p.

JÁRAI A., KOZÁK M. & RÓZSA P. 1993: A mikroszkópi modális analízis optimális módszerének kiválasztása. – *Acta Geogr. Debrecina.* **30–31**, 113–132.

JÁRAI, A., KOZÁK, M. & RÓZSA, P. 1997: Comparison of the Methods of Rock-Microscopic Grain-Size Determination and Quantitative Analysis. – *Math. Geol.* **29/8**, 977–991.

KOZÁK M. 1979: Lehordási modellterület felépítésének és kőzetanyag-transzportjának földtani vizsgálata. – Kézirat, Egyetemi doktori értekezés, Debrecen. 179 p.

MARSHALL, D. 1996: Ternplot: an excel spreadsheet for ternary diagrams. – *Comp. Geosci.* **22/6**, 697–699.

ROSIWAL, A. 1898: Ueber geometrische Gesteinsanalysen usw. – *Verhhandlung der K.-K. geologischen Reichsanstalt.* **5–6**, 143–175.

RÓZSA P. & PAPP L. 1989: Tokaji-hegységi vulkáni és szubvulkáni kőzetek elkülönítése szemcseösszetételük alapján. – *Földt. Közl.* **118**, 265–275.

SAROCCHI, D. & MACÍAS, J. L. 2004: Study of the textural characteristics of volcaniclastic deposits by means of image analysis. – Abstracts of 32nd IGC Florence 2004. 1. 602–603.

SAROCCHI, D., BORSELLI, L. & MACIAS, J. L., 2005: Construcción de perfiles granulométricos de depósitos piroclásticos por métodos ópticos. – *Rev. Mex. Cien. Geol.* **22/3**, 371–382.

SHAND, S. J. 1916: A recording micrometer for rock analysis. – *J. Geol.* **24/4**, 394–403.

TEXTORIS, D. A. 1971: Grain-size measurements in thin-section. – In: CARVER, R. E. (ed.): Procedures in sedimentary petrology. – Wiley Interscience, New York. 95–107.

THOMSON, E. 1930: Quantitative microscopic analysis. – *J. Geol.* **38**, 193–222.

TÓTH S., CSÁMER Á. & RÓZSA P. 2003: DOS-alapú program kőzetek modális elemzéséhez. – *Acta Geogr. Debrecina* **36**, 41–54.

Kézirat beérkezett: 2006. 02. 21

Földtani Közlöny 136/4, 599–602. (2006) Budapest

Hírek, ismertetések

Összeállította: PALOTÁS Klára

TÁJÉKOZTATÓ

Magyarország ásványai — A miskolci Herman Ottó Múzeum internetes adatbázisa

A miskolci Herman Ottó Múzeum honlapján május óta lehet böngészni a Magyarország ásványait bemutató internetes adatbázist, amely tartalmazza a hazánkból eddig kimutatott összes ásványfajt. Egy-egy ásványról a következő adatokat közlik: kémiai képlet, kristályrendszer, ásványosztály, megjelenés, hasadás, törés, keménység, sűrűség, átlátszóság, szín, karcszín, fény, képződési körülmények és az ásvány nevének eredete. Emellett a településnév szintjén megadják az összes ismert hazai lelőhelyeket, külön kiemelve azokat a településeket, ahonnan a Herman Ottó Múzeum is rendelkezik példányokkal. Így az adatbázis lehetővé teszi, hogy a múzeum gyűjteményét is minél jobban megismerjük. Ez utóbbi célt a jelenleg több mint 1600 színes ásványfotó is elősegíti, melyek mindegyike a HOM példányairól készült. Aki elsősorban a képekre kíváncsi, annak a „Képgaléria" rész ajánljuk, ahol nagyon könnyen lehet az ásványfotókra keresni.

Az adatbázis felhasználóbarát keresőrendszerrel rendelkezik. Lehet keresni ásványnévre, lelőhelyre, kristályrendszerre és ásványosztályra, ill. ezek kombinációjára. Az adatbázist folyamatosan frissítik, így mindig aktuális és naprakész információt talál benne a felhasználó. Mivel az adatbázis már most is nagyon nagy, valószínűleg nem mentes a hibáktól. Ezen kívül biztosan vannak olyan lelőhelyek, melyek nem szerepelnek egy-egy fajnál, sőt előfordulhat, hogy néhány ásványfaj kimaradt belőle. A készítők azt szeretnék, hogy az adatbázis minél pontosabb és teljesebb legyen, ezért azt kérik a kedves Olvasótól, hogy minden észrevételt küldjenek el Fehér Bélának a következő e-mail címre: homin@t-online.hu.

Az adatbázist írta: Szakáll Sándor és Fehér Béla.

Fotók: Szakáll Sándor, Kulcsár Géza, Fehér Béla és Jáger Viktor.

Programozás: Kriska Ádám.

A címe: www.mineral.hermuz.hu/asvanytan

SZEMÉLYI HÍREK

Kinevezés, kitüntetések

Szeptember 4-én FÖLDESSY János tanszékvezető, eddig egyetemi docens, egyetemi tanári kinevezést kapott SÓLYOM László köztársasági elnöktől.

***

A november 8-án a Tudomány Napja alkalmából rendezett ünnepi ülésén a Miskolci Akadémiai Bizottság az ez évben PhD fokozatott szerzett NÉMETH Norbertet Tudományos Díjjal tüntette ki.

***

Szeptember 9-én a 2006/2007. tanév megnyitóján FUCHS Pétert, tanszékünk nyugalmazott adjunktusa és továbbra is aktív közreműködője Pro Facultate Rerum Metallicarum kitüntetést kapott. Munkáját, segítségét ezúton is köszönjük, jó egészséget, további munkájához sok sikert kívánunk.

Elhunyt tagtársaink

Dr. URBANCSEK János

LELKES Ákos

Emlékünkben és munkáikban tovább élnek.

RENDEZVÉNYEK

Mongólia és az arab világ — Hajdúsámsonban

2006. május 14-ikén nyitották meg a hajdúsámsoni II. Rákóczi Ferenc Általános Művészeti Iskolában a város szülötte, dr. MÁRTON Gyula aranydiplomás geológus muzeális gyűjteményének állandó kiállítását. Ez dr. MÁRTON Gyula külföldi munkáinak fotó- és írásos dokumentumait, valamint tárgyi emlékeit tárja a nagyközönség elé.

Dr. MÁRTON Gyula az I. Magyar–mongol Földtani Expedíció tagjaként földtani térképezést végzett Mongóliában (Szuhe-Bator megyében),

továbbá mikromineralógiai-kémiai laboratóriumot létesített és vezetett Csojbalszan városban.

A Közel-Keleten megszerkesztette Irak és Kuwait teljes (19 részes) Vízföldtani Atlaszát; egyéni szakértőként sikeres vízföldtani kutatást végzett a szaudarábiai sivatagok iraki és szíriai részén. (Lásd: „Vízkutatás és vízfeltárás lehetőségei Irakban."— Hidrológiai Tájékoztató 2004, 86–90. old.)

A kiállítás értékes választékot mutat be dr. MÁRTON Gyula gazdag néprajzi gyűjtemé-nyéből is.

Az ünnepélyes megnyitó HOLLÓ Ila festőművész és költő tárlatának megnyitásával volt egybekötve.

A mintegy másfélszáz résztvevő előtt az iskola és a város vezetői mellett felszólaltak a Debreceni Egyetem, a Debreceni Déry Múzeum, a budapest ELTE BTK Belső-ázsiai Tanszéke, a Hopp Ferenc Kelet-ázsiai Múzeum, a Magyar Természettudományi Múzeum, a Magyarhoni Földtani Társulat, a Magyar Hidrológiai Társulat, a budapesti Mongol Nagykövetség és a Tibetet Segítő Társaság képviselői is.

DUDICH Endre

A VIII. Székelyföldi Geológus Találkozó 2006. Október 26–28.

A Pro Geológia Egyesület, a Magyarhoni Földtani Társulat és a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Csíkszeredai karainak rendezésében került sor a VIII. Székelyföldi Geológus Találkozóra, melynek a csíkszeredai Sapientia EMTE adott otthont. A találkozó fő célja fórumot teremteni a székelyföldi és az innen elszármazott, illetve a magyarországi és más államokbeli magyar szakembereknek a találkozásra és tapasztalatcserére, előmozdítani a kapcsolatépítéseket régiók, szakterületek között és, nem utolsó sorban, alkalmat adni a fiatal, kezdő szaktársainknak a bemutatkozásra. Egyúttal lehetőséget kínál azoknak a szakembereknek a bemutatkozásra, akik a Székelyföld geológiájával is foglalkoznak.

Október 26-án a Sapientia EMTE Csíkszeredai környezetmérnökkari hallgatói (és más érdeklődők is) a Magyarhoni Földtani Társulat Mérnök- és Környezetföldtani Szakosztályának igen érdekes előadássorozatát hallgathatták meg.

Október 27-én a találkozó kirándulással folytatódott, melynek célja a Ditrói Alkáli Masszívum északi részén, az Orotva völgyében fellelhető ultrabázikus és bázikus kőzetek megtekintése volt. A kirándulást este kiállítás-megnyitók követték: BARTHA Zsolt: A berkai sárvulkánok (Buzău megye, Románia) fotókiállítás; A Hargita-hegység neogénkvarter vulkanitjai — „andezitek" — kőzetkiállítás.

Október. 28-án magas színvonalú plenáris előadásokat hallgathattunk PÁL-MOLNÁR Elemér, a szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékének tanára, HAVASNÉ SZILÁGYI Eszter, a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium főmunkatársa, SZŐCS Teodóra, a Magyar Állami Földtani Intézet főmunkatársa, SZAKÁCS Sándor, a Sapientia EMTE tanára, WEISZBURG Tamás, az ELTE-TTK, Ásványtani Tanszék tanára és SZAKÁLL Sándor, a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Tanszék tanára részéről. Délután pedig számos, jól megalapozott dolgozatbemutatót hallgathattunk- nézhettünk végig. A találkozót állófogadás zárta.

Akár csak a tavaly, színvonalas és sikeres Találkozót könyvelhetünk el. A számos érdekfeszítő dolgozat közül külön kiemelném a SZAKÁLL Sándor és csapata által végzett hatalmas, szinte emberfölötti munkát, mely a Székelyföld ásványainak a feltárását vette célkeresztbe (a 2010-es budapesti ásványtan konferenciára kötet készül belőle). Megnyugtató, hogy e hatalmas munkában jórészt erdélyi diákok és kutatók vesznek részt. Ez azt jelenti, hogy a jelenlegi kedvezőtlen konjunktúra ellenére is van érdeklődés e gyönyörű szakma iránt.

Nagyon köszönöm mindenkinek a megtisztelő részvételt. Jövőre is mindenkit szeretettel várunk! Csíkszereda, 2006. október 31.

LACZKÓ Attila-Albert

KÖNYVISMERTETÉS

SZENDREI Géza, TÓTH Tibor (szerk.) (2006): A magyarországi szikes talajok felszíni sóásványai.

Topographia Mineralogica Hungariae sorozat, IX. kötet. 104 oldal, ára 700 Ft.

A szikes talajok kutatása hosszú múltra és nagy hagyományokra tekint vissza hazánkban. Az első kísérletek TESSEDIK Sámuel nevéhez fűződtek a XVIII. században. A hazai talajtan olyan kimagasló, nemzetközileg is széles körben elismert egyéniségei szentelték munkásságuk jelentős, meghatározó részét a szikes talajok kutatásának, mint TREITZ Péter, 'SIGMOND Elek, HERKE Sándor, ARANY Sándor, PRETTENHOFFER Imre, SZABOLCS István, DARAB Katalin, GEREI László, FILEP György és VÁRALLYAY György. A szikes talajok vizsgálata igen

sokrétű és szinte teljes körű volt. A sókivirágzások ásványtani vizsgálata azonban csaknem teljesen hiányzott. Erre csak az utóbbi évtizedekben adott módot az ásványtani anyagvizsgálati módszerek fejlődése.

A talajfelszíni sókivirágzások kutatása a hazai szikes talajokról rendelkezésre álló ismeretek teljesebbé tétele és ezen belül elsősorban a sófelhalmozódási folyamatok mélyebb, más oldalról, a szilárd fázis szempontjából történő megismerése céljából lett elkezdve. E vizsgálatok a viszonylag kevés külföldi adatot is jól kiegészítik, különös tekintettel arra, hogy az erdős sztyepp övezetbeli, a sztyepp és sivatagi övezethez képest viszonylag kis koncentrációban történő sófelhalmozódásokról szolgáltatnak ismereteket, így szinte egyedülállóknak mondhatók. A sókivirágzások ásványainak és társulásaiknak meghatározása teljesebbé teszi a hazai talajásványtani és topografikus ásványtani ismereteinket.

A kötetben a következő tanulmányok olvashatók:

TÓTH T., SZENDREI G.: A hazai szikes talajok és a szikesedés, valamint a sófelhalmozódási folyamatok rövid jellemzése.

SZENDREI G.: A talajfelszíni kivirágzások sóásványairól világszerte publikált adatok összegzése és értékelése.

SZENDREI G., SZAKÁLL S.: A talajfelszínen előforduló sókivirágzásokkal kapcsolatos ismeretek Magyarországon 1998-ig.

SZAKÁLL S., KOVÁCS-PÁLFFY P., SAJÓ I., KOVÁCS Á.: Magyarországi sókivirágzások ásványtani vizsgálata.

SZENDREI G., TÓTH T., KOVÁCS-PÁLFFY P., SAJÓ I., SZAKÁLL S., KOVÁCS Á.: A talajfelszíni sókivirágzások elterjedése Magyarországon.

TÓTH T. SZENDREI G.: A sókivirágzások elterjedésének és képződésének összefüggése a környezeti, ezen belül a talajtani tényezőkkel.

FEHÉR Béla

SZAKÁLL Sándor, FEHÉR Béla, JÁGER Viktor (2006): Az ásványok világa.

Kiállításvezető a Herman Ottó Múzeum utazó kiállításához általános és középiskolák számára. 40 oldal, ára 500 Ft

Földünk szilárd kérgét, melyen élünk, és bizonyos mélységig az alatta elhelyezkedő mélyebb övezeteket ásványok építik fel. De ásványokból állnak más bolygók és holdak szilárd részei, a meteoritok, valamint a csillagközi por is. Ugyancsak ásványok képződhetnek bizonyos állatok vagy növények élettevékenysége által. Az emberiség történelmében, a technikai fejlődésben az ásványok felhasználása szintén meghatározó jelentőségű volt, s az is maradt mind a mai napig. Szinte alig van olyan pillanat az életünkben, amikor ne látnánk ásványokat, ne vennének körül bennünket ásványokból készült tárgyak. Sőt, nem tudunk úgy levegőt venni, hogy ne kerülnének parányi ásványok légzőszerveinkbe.

A fentiek ellenére hazánk alap- és középfokú oktatási rendszerében az ásványtan, illetve szélesebb tudományterülete, a földtan (geológia) méltatlanul háttérbe van szorítva. Nincs önálló geológia tárgyunk, s csupán a földrajz és a kémia tárgyakban, de ott is igen érintőlegesen szerezhetnek ásványtani ismereteket a tanulók. Így aztán egyáltalán nem meglepő, ha a diákok nagy része még az ásványtani alapfogalmakkal sincs tisztában.

Ezt a hiányt szeretné a Herman Ottó Múzeum némiképp pótolni, ha nem is tanórákkal vagy tankönyvekkel, de egy olyan utazó kiállítással és hozzá kapcsolódó teljesen színes kivitelben megjelent vezetővel, melyek a fenti — az átlagos műveltséghez szorosan hozzá tartozó — kérdésekre választ adnak.

FEHÉR Béla

***

A kiadványok személyesen megvásárolhatók a Herman Ottó Múzeum kiállítási épületében (Miskolc, Papszer 1.) és múzeumi boltjában (Miskolc, Görgey A. út 28.). Postai utánvéttel, a postaköltség felszámításával megrendelhetők — a poszter kivételével — a következő címen: Herman Ottó Múzeum Könyvtára, 3529 Miskolc, Görgey A. út 28. Tel.: (46) 560-177. E-mail: szakacs@hermuz.hu

Útmutató a Földtani Közlöny szerzői számára

A Földtani Közlöny — a Magyarhoni Földtani Társulat hivatalos szakfolyóirata — csak eredeti, új tudományos eredményeket tartalmazó (magyar, ill. idegen nyelven még meg nem jelent) közleményeket fogad el.

Elsődleges cél a hazai földdel foglalkozó, vagy ahhoz kapcsolódó tárgyú cikkek megjelentetése. A **kézirat lehet**: értekezés, rövid közlemény, vitairat, fórum, szemle, rövid hír, könyvismertetés stb. Vitairat a vitatott cikk megjelenésétől számított hat hónapon belül küldhető be. Ez esetben a vitatott cikk szerzője lehetőséget kap arra, hogy válasza a vitázó cikkel együtt jelenjék meg. Az értekezések maximális összesített terjedelme 25 nyomdai oldal (szöveg, ábra, táblázat, fénykép, tábla). Ezt meghaladó értekezés csak abban az esetben közölhető, ha a szerző a többletoldal költségének 130%-os térítésére kötelezettséget vállal. A tömör fogalmazás és az állításokat alátámasztó adatszolgáltatás alapkövetelmény. A folyóirat nyelve magyar és angol. A közlésre szánt cikk bármelyik nyelven benyújtható, minden esetben magyar és angol nyelvű összefoglalással. Az angol változat vagy összefoglalás elkészítése a szerző feladata. Más idegen nyelven történő megjelentetéshez a Szerkesztőbizottság hozzájárulása szükséges.

A **kéziratot** (szöveg, ábra, táblázat, fénykép, tábla) **digitális formában** — lemezen vagy hálózaton keresztül — **kell benyújtani,** emellett **a technikai szerkesztőhöz 3 nyomtatott példányt is meg kell küldeni.** Ha a szerző nem tudja biztosítani a digitális formát a kézirat elfogadásáról a Szerkesztőbizottság javaslata alapján a Társulat Elnöksége dönt, tekintettel annak költségvonzatára. Jelenleg IBM-kompatibilis személyi számítógépen bármely szövegszerkesztőből ASCII kódban (DOS Text Only) kimentett változat nyújtható be, de elsősorban a Word változatok használata javasolt (.rtf formátumban).

A Szerkesztőbizottság három lektort jelöl ki. A felkért lektoroknak 3 hét áll rendelkezésre a lektorálásra. A harmadik lektor egy pozitív és egy negatív vélemény, ill. valamelyik lektor visszautasító válasza esetén kapja meg a kéziratot. A szerzőtől a Szerkesztőbizottság a lektorálás után 1 hónapon belül várja a javított változatot. Amennyiben a lektor kéri, átdolgozás után újra megtekintheti a cikket, s ha kívánja, pár sorban közzéteheti szakmai észrevételeit a cikkel kapcsolatban. Abban az esetben, ha a szerzői javítás után megkapott cikkel kapcsolatban a lektor 3 héten belül nem nyilvánít véleményt, úgy tekintjük, hogy a cikket abban a formájában elfogadta. **Mindazonáltal a Szerkesztőbizottság fenn-tartja magának a jogot, hogy kisebb változtatás esetén 2 hónapon, nagy átdolgozás esetén 6 hónapon túl beérkező cikkek megjelentetését visszautasítsa.**

A kézirat részei (kötelező, javasolt):

a, Cím
b, Szerző(k), postacímmel (E-mail cím)
c, Összefoglalás (angol abstract)
d, Bevezetés, előzmények
e, Módszerek
f, Adatbázis, adatkezelés
g, A téma kifejtése — megfelelő alcím alatt
h, Diszkusszió
i, Eredmények, következtetések
j, Köszönetnyilvánítás
k, Hivatkozott irodalom
l, Ábra-, táblázat- és fényképmagyarázatok
m, Ábrák, táblázatok és fényképtáblák

A Közlöny nem alkalmaz az alcímek esetében sem decimális, sem abc-s megjelölést. Az alcímek nem lehetnek három fokozatnál nagyobbak. Lábjegyzetek használata kerülendő, amennyiben mégis elkerülhetetlen, a szöveg végén sorszámozva ún. végjegyzetként jelenik meg.

A cikk szövegében hivatkozások az alábbiak szerint történjenek:
RADÓCZ (1974), ill. (RADÓCZ 1974)
GALÁCZ & VÖRÖS (1972), ill. (GALÁCZ & VÖRÖS 1972)
KUBOVICS et al. (1987), ill. (KUBOVICS et al. 1987)
(GALÁCZ & VÖRÖS 1972; RADÓCZ 1974, 1982; KUBOVICS et al. 1987)
(RADÓCZ 1974, p. 15.)

Az illusztrációs anyagot (ábra, táblázat, fénykép, tábla) a tükörméretbe (130×196) álló, vagy fekvő helyzetben beilleszthető méretben kell elkészíteni. Az illusztrációs anyagon a vonalvastagság ne legyen 0,3 pontnál kisebb, a betűméret ne legyen 6 pontnál kisebb. A digitális ábrákat, táblákat cdr, .tif, .eps, .wmf kiterjesztésekkel, illetve. a tördelő programba történő beilleszthetőség miatt az Excel táblázatokat word táblázatokká konvertált formában, az Excel ábrákat CorelDraw formátumban tudjuk elfogadni.

A Földtani Közlöny feltünteti a cikk beérkezési és elfogadási idejét is. A késedelmes szerzői javítás esetén a második (utolsó) beérkezés is feltüntetésre kerül.

Az előírásoknak meg nem felelő kéziratokat a technikai szerkesztő a szerzőnek, több szerző esetén az első szerzőnek visszaküldi.

A kéziratokat a következő címre kérjük beküldeni: Piros Olga 1443 Budapest, Pf. 106.

Földtani Közlöny 136/4, 2006

Tartalom — Contents

RAUCSIK Béla, VARGA Andrea, PETERDI Andrea: A Rezi Rzt–1 fúrás felső-triász képződményeinek szervetlen geokémiai jellemzői (Kösseni Formáció, Keszthelyi-hegység): őskörnyezeti tanulmány — *Inorganic geochemical characteristics of the Upper Triassic rocks from borehole Rezi Rzt–1 (Kössen Formation, Keszthely Mountains, Hungary): a palaeoenvironmental study* 465

MAKÁDI László, BOTFALVAI Gábor, ŐSI Attila: Késő-kréta kontinentális gerincesfauna a Bakonyból I: halak, kétéltűek, teknősök, gyíkok — *The Late Cretaceous continental vertebrate fauna from the Bakony Mountains I: fishes, amphibians, turtles, squamates* . 487

ŐSI Attila, RABI Márton: Késő-kréta kontinentális gerinces fauna a Bakonyból II: krokodilok, dinoszauruszok (Theropoda, Aves, Ornithischia), pteroszauruszok — *The Late Cretaceous continental vertebrate fauna from the Bakony Mountains II: crocodiles, dinosaurs (Theropoda, Aves, Ornithischia), pterosaurs* 503

GEIGER János: Szekvenciális gaussi szimuláció az övzátonytestek kisléptékű heterogenitásának modellezésében — *Sequential Gaussian simulation in the modelling of small-scale heterogeneity of point bars* 527

FARKAS Izabella Melinda, WEISZBURG Tamás: ülepedő és szálló por ásványtani vizsgálata a romániai Kolozs megyéből — *Mineralogical investigation of settled and airborne dust collected from Cluj County, Romania* 547

FODOR Béla: Magyarország szénhezkötött metánvagyona — *Coalbed methane in-place resources in Hungary* 573

ALMÁSI Béla, CSÁMER Árpád, FARKAS János, RÓZSA Péter: Web-alapú modális elemzési értékelő program (MACALC) — *MACALC: A program for supporting modal analysis of rocks* 591

Hírek, ismertetések: Összeállította: PALOTÁS Klára 598