

Természetföldrajzi Közlemények

a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetéből



Természetföldrajzi Közlemények a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetéből

2015.

ISSN 2063-4153

Főszerkesztő:

DR. NAGYVÁRADI LÁSZLÓ

Szerkesztők:

DR. BALASSA BETTINA, DR. FÁBIÁN SZABOLCS ÁKOS, DR. VARGA GÁBOR

Szerkesztőbizottság:

DR. DOBOS ENDRE (*Miskolci Egyetem*), DR. ELEKES TIBOR (*Miskolci Egyetem*), DR. GERESDI ISTVÁN (*Pécsi Tudományegyetem*), DR. KARÁTSZON DÁVID (*Eötvös Loránd Tudományegyetem*), DR. LÓCZY DÉNES (*Pécsi Tudományegyetem*), DR. LÓKI JÓZSEF (*Debreceni Egyetem*), DR. MUCSI LÁSZLÓ (*Szegedi Tudományegyetem*), DR. SZABÓ MÁRIA (*Eötvös Loránd Tudományegyetem*), DR. SZABÓ SZILÁRD (*Debreceni Egyetem*), DR. VERESS MÁRTON (*Nyugat-magyarországi Egyetem*)

Technikai szerkesztő:

VARGA TAMÁS, SZEBÉNYI ANITA, MÁTÉ KORNÉL

Impresszum:

Kiadó: PTE TTK Földrajzi Intézet
Székhely: 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.
Felelős kiadó: Dr. Nagyvárad László

TARTALOM

SEBE KRISZTINA – KONRÁD GYULA – HORVÁTH JUDIT:

Tektonikai jelenségek a Mecsek-alja-öv pannóniai rétegeiben: Pécs, Ifjúság útja és környéke..... 1

FARKAS GÁBOR:

Normalizált indexek alkalmazhatósága automatikus területi klasszifikációhoz Magyarországon Baranya megye példáján..... 13

JÓZSA EDINA – TÓTH GABRIELLA:

Geomorfológiai tanulmányút Morvaországban – barlangoktól a bányákig 21

Tektonikai jelenségek a Mecsekalja-öv pannóniai rétegeiben: Pécs, Ifjúság útja és környéke

Sebe Krisztina¹ – Konrád Gyula² – Horváth Judit³

¹egyetemi adjunktus, Pécsi Tudományegyetem, Földtani és Meteorológiai Tanszék, E-mail: sebe@gamma.ttk.pte.hu

²ny. egyetemi docens, Pécsi Tudományegyetem, Földtani és Meteorológiai Tanszék, E-mail: konradgyula@t-email.hu

³doktorandusz, Pécsi Tudományegyetem, Földtudományok Doktori Iskola, E-mail: judit.of.horvath@gmail.com

Absztrakt

A Mecsek déli határán húzódó Mecsekalja-öv a Dél-Dunántúl egyik legfontosabb töréses öve, jelentőségét a késő-miocénben és azután is zajló mozgások is meghatározzák. A Kárpát-medence nagy részéhez hasonlóan a pannóniai és kvarter üledékek közti jelentős hiátus, valamint a laza üledékekben a vetőkarcok hiánya miatt a különböző mozgási fázisok időpontjának és kinematikájának meghatározása itt is nehézségekbe ütközik. Ezek behatárolásához segítséget adhat a pannon-tavi litorális képződmények eredetileg közvetlen közlelről származó törmelékanyagának vizsgálata. A Mecsekalja-öv legjobban feltárt szakaszán, a pécsi Ifjúság útja környékén a pannóniai durvatörmelék képződményeket vizsgáltuk tektonikai és szedimentológiai szempontból. A közelmúltban létesült ideiglenes feltárások dokumentálása mellett fő célunk a tektonikai elemek mérése, a kavicsanyag közettani leírása makroszkópos megfigyelések és vékonycsiszolatok segítségével, valamint a forrásközetek azonosítása volt. Az eredményeket fúrás adatokkal összevetve rekonstruáltuk az ösföldrajzi képet, a tópart kőzetanyagának tér- és időbeli változását, ezzel az egyes közzettestek mozgását. A *Congeria rhomboidea* molluszkabiozónába tartozó ősmaradványok alapján a vizsgált üledékek a késő-miocén viszonylag fiatal szakaszáról, a 8-6 millió év közötti időszak egy részéről tanúskodnak. Az oligomikt, alig koptatott törmelék és az üledékszerkezetek tanúsága szerint a Pannon-tó hullámverése itt meredek, sziklás partot ostromolt, ahova betorkolló folyók nem szállítottak számottevő hordalékot. A homokba települő, koptatatlan törmelék tartalmazó kavicsrétegeket legvalószínűbben szinszediment vetőmozgás üledékeiként értelmezhetjük és a feltolódások aktivitásához köthetjük. A kavicsrétegek változatos törmelékanyaga arra utal, hogy az üledékképződés ideje alatt már egymás mellett helyezkedett el a Mecsekalja-övben ma látható, igen eltérő közzet típusok nagy része. A vetőzóna egyes elemei a homokos rétegsor lerakódása előtt, alatt és után is mozogtak: az alaphegységi közzetblokkok helyzete kis mértékben változott egymáshoz és a pannon-tavi üledékekhez képest is. Az elmozdulások túlnyomórészt eltolódásos és feltolódásos jellegűek voltak. A miocén óta a hegység emelkedése az előtérhez képest a Mecsekalja-öv mentén néhány 10 - néhány 100 m közé tehető.

Kulcsszavak Mecsek, késő-miocén, szinszediment, tektonika

DOI: 10.17799/2015.1.1

1. Bevezetés

A Mecsek déli határán húzódó Mecsekalja-öv a Dél-Dunántúl egyik legfontosabb töréses öve. Vadász (1935) klasszikus műve óta közismert, hogy a vetőzóna mentén mozgások zajlottak a pannóniai (felső-miocén) üledékek lerakódása alatt és után is (részletesen ld. Konrád & Sebe 2010 és hivatkozásai).

E rendkívül összetett vetőzóna legjobban feltárt része Pécs város belterületén helyezkedik el. Ezen belül

a Makár-hegy déli és keleti előterében, az Ifjúság útján és környékén található feltárások a Mecsekalja-öv menti fiatal, késő-neogén-kvarter deformáció léptékébe engednek bepillantást: a Pannon-tó késő-miocén üledékei változatos alaphegységi képződmények, így paleozoos metamorfitek, alsó-jura kőszenes összlet és középső-triász sziliciklasztos és karbonátos üledékek alatt, fölött és között fordulnak elő (Hámor, 1966, Kleb, 1973, Chikáné Jedlovsky & Kókai, 1980).

A vetőzóna pannóniai és poszt-pannóniai mozgásainak

elkülönítése legtöbbször nehéz, mivel a pannon-tavi üledékek fölött jelentős hiánnyal, eróziós diszkordanciával települnek a jóval fiatalabb, rendszerint késő-pleisztocén teresztrikus képződmények. Emellett akár a szinszediment, akár a későbbi mozgások irányának megállapítása is ritkán lehetséges, hiszen a túlnyomórészt homokból álló összlet csak kivételes esetben őriz meg pontos kinematikai indikátorokat, például vetőkarokat. A vető menti elmozdulások korának és irányának behatárolásához segítséget adhat a pannon-tavi litorális képződmények törmelékanyagának vizsgálata (Konrád, 1998). A partközelen, hullámveréses övben lerakódott homokokban található kavicsanyagot részben a tó abrázíós tevékenysége, részben a szárazföldről történő (folyóvízi vagy areális) behordás szolgáltathatta. A kavicsok vizsgálata emiatt információval szolgál a közvetlen közelben elhelyezkedő partszakasz kőzetani felépítéséről. Amennyiben a kavicsanyag nem egyezik a homok közelében ma megtalálható alaphegységi kőzettestekével, az azt jelenti, hogy az eredeti forráskőzet a kavicsrétegek lerakódása óta eltelt időben szerkezeti mozgások hatására eltávolodott. A mozgások jellegéhez további adatokat nyerhetünk a pannóniai üledékekben esetlegesen megfigyelhető vetők elemzésével.

Míg az Ifjúság út közeli régi homokbányák ma már csak korlátozottan vizsgálhatók, a közelmúlt építkezési során létesültek új feltárások is, például a Pécsi Tudományegyetem Szentágothai Kutatóközpontjának alapozása során. Jelen munka célja a Makár-hegy környékén a pannóniai rétegsorok kavicsanyagának és a lehetséges forráskőzetül szolgáló kibúvá-soknak a kőzetani vizsgálatával, valamint szerkezetföldtani mérések és elemzések segítségével a szerkezetföldtani kép pontosítása.

2. Kutatási terület

Földtani felépítés

A Makár-hegy délkeleti előterét, elsősorban az Ifjúság útjától északra húzódó, mintegy 500 m széles sávot vizsgáltuk, amely a Mecsek-alja-öv északi peremén helyezkedik el (1. ábra). Ez a kis terület rendkívül változatos felépítésű, tektonikusan érintkeznek a paleozoos, mezozoos és felső-miocén kőzetek.

A feltárt felső-miocén kavicsos homok rétegsorok anyaga a Mecsek kiemelt tömbjéről származik, rétegtanilag a Kállai Kavics Formációba sorolható.

Ennek kora jelenlegi ismereteink szerint molluszka-biosztratigráfia alapján a Mecsekben megközelítőleg 10-től ~ 6 millió évig terjed (Sebe et al., 2015).

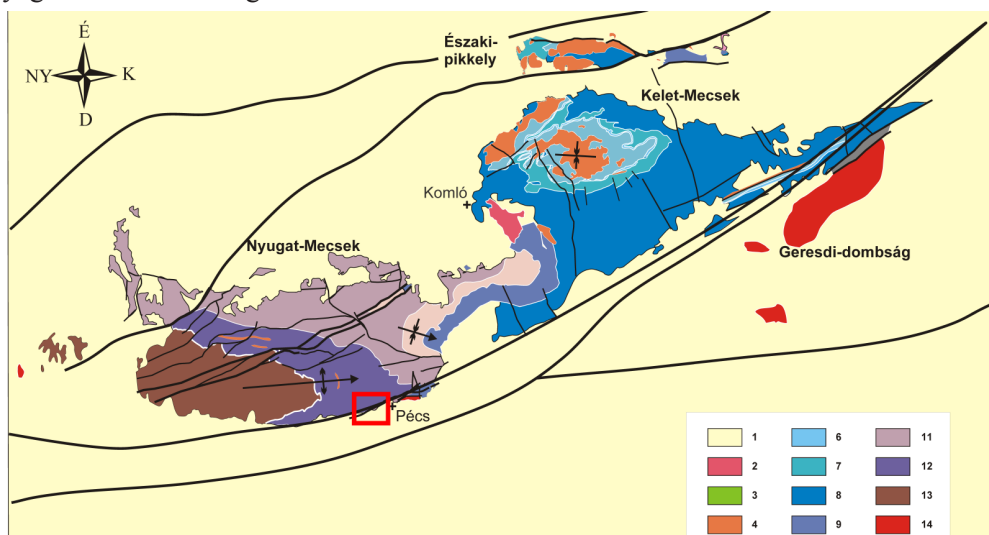
2.1 Vizsgált feltárások

A pannóniai kavicsbetelepülések homok rétegsorok öt feltárását vizsgáltuk. Elhelyezkedésüket a 2. ábra mutatja, rövid leírásukat az alábbiakban adjuk. Mivel ezeket a szakirodalomban különböző néven említik, hasznosnak tartjuk megadni ezeket az elnevezéseket az eligazodás megkönnyítése végett.

1. Ifjúság úti homokbánya

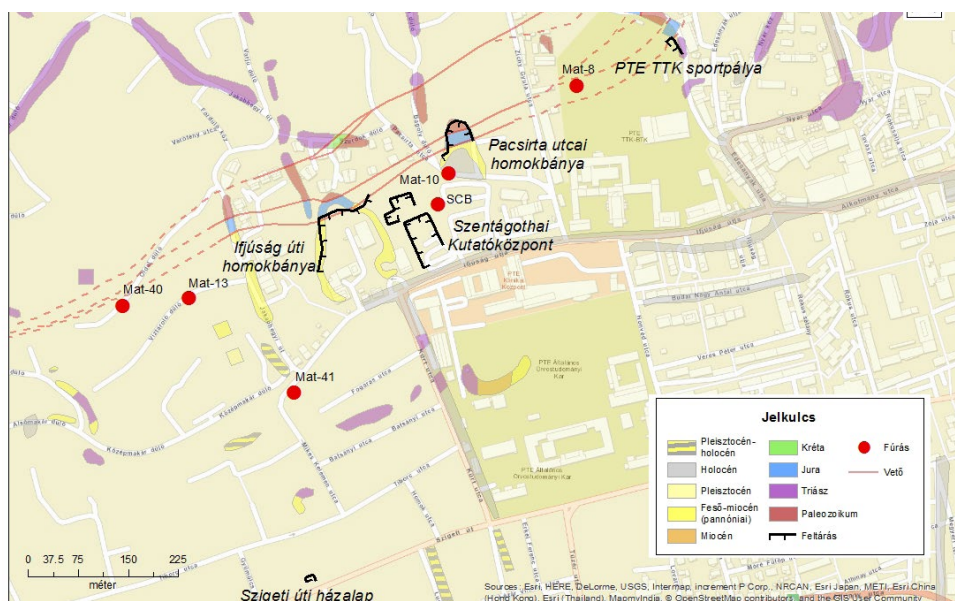
A pannóniai képződményeket ért szerkezeti mozgások klasszikus megjelenési helye, Hámor (1966, 1970) és Kleb (1973) Makár-hegyi homokbányaként mutatja be. A Pécsi Tudományegyetem orvosi karának „B” kollégiuma (Balassa János Kollégium, Jakabhegyi út 6.) mögött, attól északra húzódó feltárás, erősen beakadosodva és részben leomolva. A mintegy 15 m magas falat pannóniai kavicsbetelepülések homok alkotja. A homokra alsó-jura szenes összlet és paleozoos gránit (Hámor, 1970), Chikáné Jedlovsky & Kókai (1980; MA.76 sz. feltárás) szerint metamorfít (Somogyi általuk idézett leírásában gneisz; Somogyi, 1976a, 4661. sz. feltárás) tolódott. Ezek az alaphegységi képződmények a korábbi publikációkban említett helyükön már nem láthatóak, de a PTE Szentágothai Kutatóközpont építése során a bánya keleti végében feltáródtak.

Wein (1966) Ifjúság úti homokbányaként és Ifjúsági



1. ábra: A kutatási terület elhelyezkedése

1. Neogén-negyvedidőszaki fiatal fedőüledékek, 2. Miocén andezit, 3. Kréta üledékes kőzetek, 4. Kréta bazalt (Mecsekjányosi Bazalt Formáció), 5. Felső-jura üledékes kőzetek, 6. Középső- felső-jura üledékes kőzetek, 7. Középső-jura ammoniteszes mészkő, 8. Alsó- középső-jura üledékes kőzetek, 9. Középső-triász - alsó-jura kőszéntelepés összlet (Mecseki Kőszén Formáció), 10. Felső-triász homokkő (Karolinavölgyi Homokkő Formáció), 11. Középső-triász karbonátos sorozat (Misinai Formációcsoport), 12. Alsó- középső-triász törmelékes és karbonátos üledéksor (Jakabhegyi Homokkő, Patácsi Aleurolit, Hetvehelyi Formáció), 13. Alsó-perm törmelékes és vulkáni eredetű kőzetek, valamint középső-, felső-perm - alsó-triász törmelékes üledékes kőzetek, 14. Paleozoos gránit-monzonit (Mórági Komplexum), 15. Paleozoos metamorf kőzetek. Piros kerettel jelölve a vizsgált terület.



2. ábra: A vizsgált feltárások és fúrások elhelyezkedése és földtani környezete (földtani észlelési adatok Chikán & Chikánné (1978, 1982) és Chikán, Chikánné & Kókai (1979) alapján, módosítva)

kőfejtőként is említi. Cikkében ebben a bányában, valamint nyugati és keleti folytatásában (Jakabhegyi út, illetve Pacsirta utcai homokbánya) vastag trachidolerit teleptelért említ a szeizi rétegek (ma Patacsi Aleurolit) és a jura szenes összlet között, tektonikusan érintkezve. A trachidolerit szürkészöldnek és erősen préseltnek írja le, és tévesnek tartja Böckh János és Vadász Elemér korábbi határozását, akik gránitnak tekintették ezt a kőzetet. Leírt megjelenése és helyzete alapján Wein trachidoleritje megegyezik a mások által gránitként, gneiszként vagy migmatitként leírt kőzettel.

2. Szentágothai Kutatóközpont

A több épületből álló központ alapjait 2011-ben ásták, az Ifjúság úti homokbányától alig néhány tíz méterre. Ezek a bevágások nagy kiterjedésű, összefüggő feltárásokat jelentettek, melyekben a pannóniai homok és kvarter fedője, valamint előbbiben a kavicsbetelepülések térbeli helyzete jól megfigyelhető volt. A központ fűtését és hűtését geotermikus rendszerrel oldották meg, melynek föld alatti csőrendszerét az épületegyüttestől északra helyezték el. Az ezzel járó földmunkák további részeket tártak fel a pannon-tavi homokból, valamint ennek köszönhetően került felszínre a homokra tolódott jura szenes összlet és metamorfít gyenge feltártsággal, de egyértelműen azonosíthatóan a homokbánya ÉK-i végén, a két telek határán.

3. Pacsirta utcai homokbánya

A régen felhagyott homokbánya a Pacsirta u. 22. sz. ház mögött, tőle északra helyezkedik el. Leírását Chikánné Jedlovsky & Kókai (1980) adja, hivatkozott észlelési magyarázójukban és 1983-as cikkükben, valamint a térképeken (Chikán & Chikánné, 1978; Chikán et al., 1979) MA81-es feltárásként szerepel. A pannóniai homokra rátolódva 4 méter vastag jura kőszenes összletet írnak le,

melyen szintén rátolt helyzetben metamorfít található, ezt az általuk idézett Somogyi gneiszként azonosította (Chikánné Jedlovsky & Kókai, 1980, MA.81 sz. feltárás; Somogyi, 1976a, 4664. sz. feltárás). A bánya fala mára jórészt leomlott, benövényesedett. A homokból kis foltok látszanak, a lejtőn lecsúszva megtalálhatók a homokra tolódott metamorfít tömbjei.

4. PTE TTK sportpálya

A Pécsi Tudományegyetem Ifjúság úti campusának sportpályájától ÉK-re 20-30 méterre egy bevágás keleti falában évekig látható volt a pannóniai homok és homokkő, bár a fal alsó felét törmelék fedte. Ez a feltárás korábbi észlelési térképeken nem szerepel. A hely a PTE botanikus kertjéhez tartozik, a kert rekonstrukciója során 2015-ben rézsűzték és növényekkel ültették be, így ma már nem tanulmányozható.

5. Szigeti út, házalap

A Pécs, Szigeti út 46. sz. telken álló házat 2011-ben lebontották és helyére újat emeltek. A csak néhány hétig látható házalap pannóniai homokos rétegsort és kvarter fedőt tárt fel.

2.2 Fúrások

A terület fúrásos feltárása Pécs építésföldtani térképezésének köszönhető, amit az 1970-es években végeztek. A fúrások elnevezése az érintett térképlap nevéhez igazodott, a vizsgált területen a Mat (Mecsek-alja térképező) jelű fúrások mélyültek. Térképező fúrások lévén mélységük rendszerint legfeljebb néhány 10 métert ért el, de ebben a tektonikus zónában ez több helyen elég volt ahhoz, hogy a laza üledékek alatt megfúrják az alaphegységi képződményeket is. Alapos földtani leírásuk értékes forrást jelent a későbbi kutatások számára. Ezen fúrások közül a Mat-8, -10, -13, -40 és 41 esik a vizsgált területre (2. ábra). A közelmúltban a Szentágothai Kutatóközpont építésének előkészítése során, 2009-ben mélyült a PTE Science Building geotermikus szondafúrás (SCB). Bár teljes szelvénnel fűrték, a furadékminták alapján megállapítható volt az elért alaphegység mélysége és kőzetanyaga.

3. Módszerek

A területről elsősorban kéziratos anyagok állnak rendelkezésre, a vizsgálatokhoz szükséges méretarányú (legalább 1:10 000-es) földtani térkép nyomtatásban nem jelent meg. Az archív térképi adatokat, így az 1970-1980-as években készült építésföldtani észlelési térképeket (Chikán & Chikánné, 1982, Chikán et al., 1979), valamint Szederkényi (1970) Mecsekalja-övről készített észlelési térképét ArcGIS programmal digitalizáltuk. Az első lépésben elkészült 1:10 000-es méretarányú térképlapokról digitalizált feltárásokat kiegészítettük az 1:5 000 méretarányú térképlapokéval (Chikán & Chikánné, 1978), amennyiben azok új információt hordoztak. Az egyes kőzetek kor szerinti elkülönítése a már hivatkozott észlelési térképek és az azokhoz kapcsolódó dokumentáció (Chikánné Jedlovsky & Kókai, 1980) alapján történt. Ha az nem felelt meg a jelenleg elfogadott besorolásnak, az utóbbit vettük figyelembe. Így a Jakabhegyi Homokkő Formáció nem perm, hanem triász korúként kerül feltüntetésre. A különböző leírásokban ellentmondásosan megjelenő, eltérő kőzetként vagy rétegtani egységként megjelenített feltárásokat terepen vizsgáltuk.

Az elmúlt években keletkezett ideiglenes, valamint a ma is hozzáférhető régebbi feltárásokról terepi jellemzést készítettünk: megadtuk vázlatos rétegsorukat, leírtuk az előforduló üledékszerkezeteket, valamint a földtani környezetet. Saját megfigyeléseinket összehasonlítottuk a már nem vizsgálható feltárások (mint pl. a mára már leomlott homokfalak) archív leírásaival, illetve a környéken mélyült fúrások dokumentációival. Ezek elsősorban kéziratos jelentésekben voltak hozzáférhetőek (Chikánné Jedlovsky & Kókai, 1980, Somogyi, 1976a, b), részletességük azonban sajnos nem minden esetben volt elegendő a mostani leírásokkal való korrelációhoz. Ahol lehetséges volt, ott mértük a rétegdőlést és a tektonikai elemek (elsősorban vetők) helyzetét.

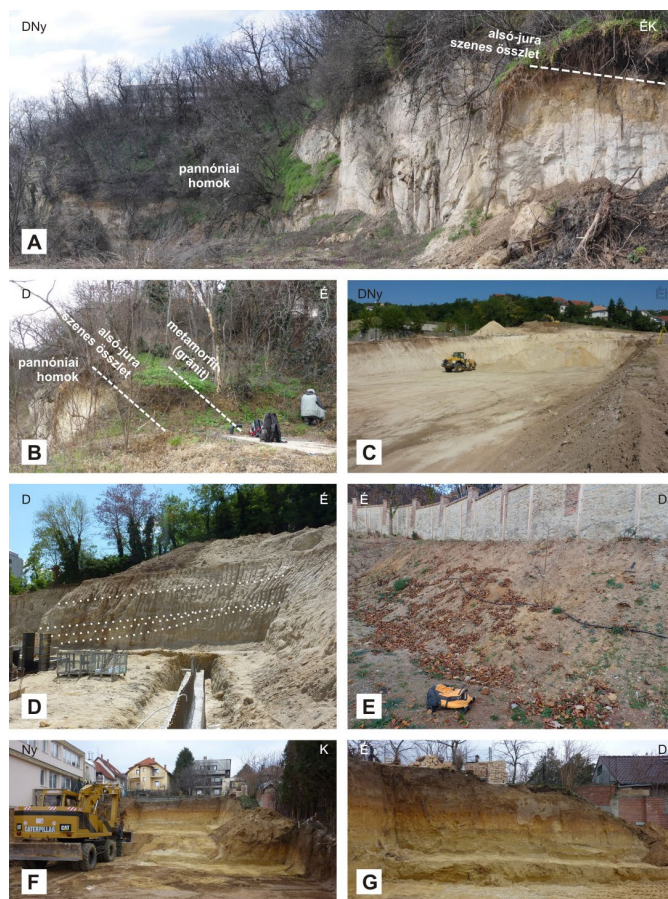
Kiemelt figyelmet fordítottunk kavicsanyag megfigyelésére. Terepen rögzítettük a kavicsok kőzetanyagát a makroszkópos megfigyelés adta lehetőségeikig, illetve a szállításra utaló bélyegeket, mint a koptatottság vagy mállottság. A jellemző vagy kérdéses kőzetekből vékonycsiszolatokat készítettünk és ezeket mikroszkóp alatt vizsgáltuk. A kavicsanyag forrásközeiteinek azonosításához bejárásokat végeztünk a környéken, és a kavicsokban megfigyelt kőzetanyagok szálban álló előfordulásait kerestük.

A korábbi leírások, fúrásdokumentációk leírásai és a terepi megfigyelések alapján a rétegsorokat a Golden Software Strater 4 programjával ábráztuk. A tektonikai adatok sztereogramjainak elkészítéséhez Jacques Angelier "Tector" nevű programcsomagját használtuk.

4. Eredmények

Az építésföldtani térképek és a hozzájuk kapcsolódó dokumentációk feldolgozása lehetővé tette egy összehangolt földtani térkép létrehozását (2. ábra). Ez megfelelő háttérrel biztosít nemcsak az újabb megfigyelések rögzítéséhez, de a mások által közölt korábbi eredmények együttes megjelenítéséhez és értelmezéséhez is.

A feltárások jelenlegi állapotát fényképekkel dokumentáltuk (3. ábra). A rétegsorok üledékes jellegei az egyes feltárásban hasonlóak, ezért azokról közös leírást adunk.



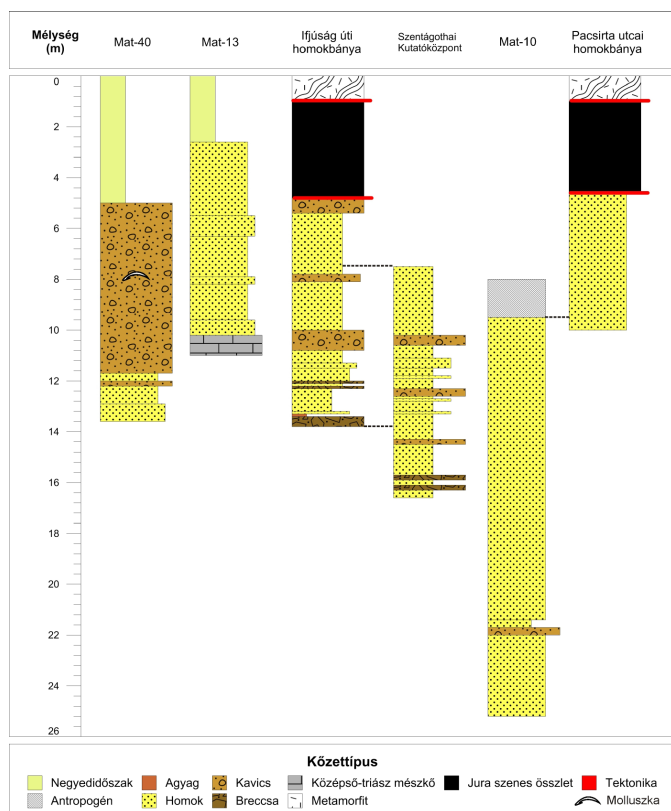
3. ábra: A vizsgált feltárások látképei

A) Ifjúság úti homokbánya a kutatóközpont telkéről fényképezve (2014 elején); B) Ifjúság úti homokbánya ÉK-i vége (2014); C) Szentágothai Kutatóközpont alapozásának alsó része (2011); D) az alapozás felső része szétágazó kavicsrétegekkel (2011); E) PTE sportpálya melletti feltárás; jobbra fent a kalapács alatt homokkőrétegek (2016); F) Szigeti úti házalap D-ről (2011); G) a házalap keleti fala (2011).

4.1 A pannóniai rétegsorok leírása

A vizsgált pannóniai rétegsorok mindegyike kavicsbetelepüléses homokból áll. Átnézetes rétegsorukat a 4. ábra mutatja.

A feltárások mindegyikében a szürke vagy sárgásszürke, finom-középszemű, csillámos homok uralkodik. A durvább szemcseméretű betelepülések osztályozottsága



4. ábra: A vizsgált feltárások és a környékbeli fúrások rétegsora (saját adatok, valamint Chikáné Jedlovsky & Kókai, 1980 alapján).

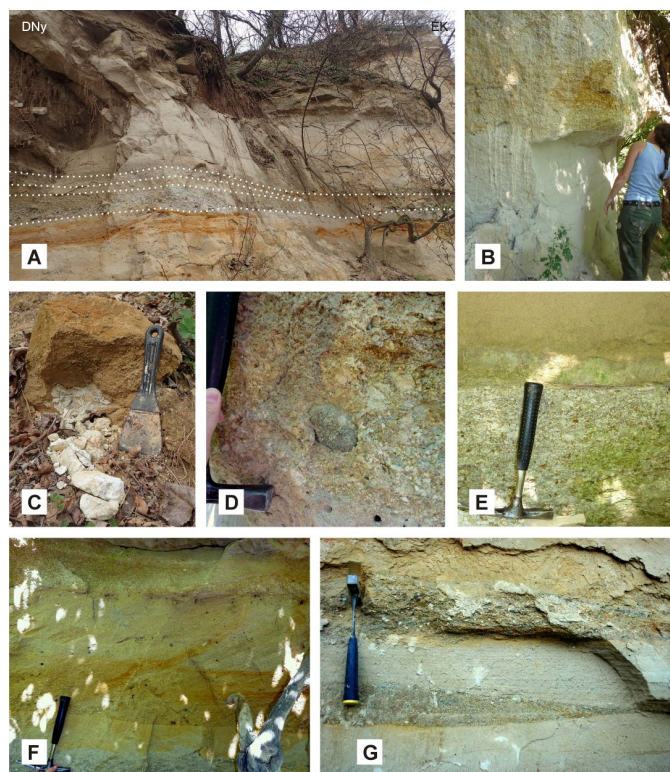
Az egymáshoz közeli, összeköthető fúrásokat és feltárásokat relatív magassági helyzetük szerint ábrázoltuk, kapcsolatukat szaggatott vonal jelöli.

jóval gyengébb, közép-durvaszemű homokból és/vagy kavicsból állnak. Vastagságuk néhány cm-től néhány dm-ig terjed. Alsó határuk jellemzően éles, hullámos, eróziós, a fedőréteg felé többször fokozatos átmenetet mutatnak. A homokrétegekben jellemzően vályús kereszttrétegzés figyelhető meg, a kötegvastagság elérheti a 30-40 cm-t (5. ábra F); ritkábban síklemezések (5. ábra G) vagy szerkezet nélküliek. A réteglemezek dőlésiránya változó, előfordul a hegység felé mutató is. A réteglemez mentén gyakran osztályozódás figyelhető meg, a durvább szemcsék (pl. mállott földpátok) a réteglemez talpa felé dúsulnak. A kereszttrétegzés a durvahomok-aprókavics rétegekre is jellemző, míg a túlnyomórészt durva kavicsból álló betelepülések gyakran szerkezet nélküliek (5. ábra B, E). A homoknál finomabb szemű üledékeket az Ifjúság úti homokbánya és a Szentágotthai Kutatóközpont alapozása alsó részén egy-egy vékony, max. 2 cm-es agyagréteg képviselte. Az agyag mindkét feltárásban közvetlenül egy durva breccsasztint fölött települt (5. ábra E), jelenleg egyik helyen sem látható már.

Mind a homok, mind a kavics anyagú rétegek egyes helyeken mésszel cementáltak. A cementáció rétegszerű vagy foltos, cipós. Az északabbi feltárásokban (Ifjúság útja, Pacsirta u.) jellemzőbb, itt a homokban szinte mindenhol van valamennyi cement, kemény homokkö-

vek is előfordulnak, míg délebbre a házalapokban ritkák a cementált rétegek. Mindegyik feltárásban megfigyelhetők limonitos színezésű sávok vagy foltok; a limonit helyenként a rétegzést követi, néha attól teljesen függetlenül jelenik meg, elterjedését néhol vetők szabják meg (6. ábra D).

Azokban a feltárásokban, ahol dőlésirányú szelvény is látható, ott feltűnő, hogy a kavicsszintek délies irányba, a hegységtől távolodva széttartanak. A kutatóközpont alapján például két kavicsréteg közt a távolság 10 m-es hosszon 30 cm-ről 1 m-re nőtt (3. ábra D). A kavicsrétegek legtöbbször csapásirányban sem kitartó: az egyes rétegek szétválhatnak, összefutnak, oldalirányban kiemelkednek, esetleg csak lencseként jelennek meg (5. ábra A). Az Ifjúság úti homokbányában egy durvakavics-zsinór csapásirányban 10 méteres távon több mint egy métert emelkedett, majd ismét vízszintessé vált. Összetételük gyorsan változhat oldalirányban, pl. egy vegyes anyagú kavicsszintben a kerekített kavicsok pár tíz méterrel ar- rébb teljesen elfogynak, a durva szemcséket csak éles kö-zettörmelék képviseli (pl. az 5. A ábra kavicsrétegében).



5. ábra: Részletek a pannóniai összletből

A) Szétágazó kavicsréteg jól koptatott és szögletes kavicsok keverékéből; B) vastag breccsaréteg metamorfittörmelékből; C) mállott metamorfittömb pannóniai homokban "úszva" (leborult tömb); D) Kiválóan koptatott permii riolitkavics éles metamorfittörmelék között; E) breccsaréteg metamorfittörmelékből, vékony agyagzsinór (a kalapácsnyél végénél), majd homokkő és homok; F) kereszttrétegzett homok; G) síklemezés homok két kavicsréteg között [Csillag Gábor felvétele]. A, C, E-G: Ifjúság úti homokbánya; B, D: Pacsirta utcai homokbánya.

Emiatt az egyébként feltűnő kavicsszintek nem használhatók vezetősíntként, már néhány tíz méteres távon sem korrelálhatók. Így az Ifjúság úti homokbánya és Szentágothai Kutatóközpont hasonló szintben lévő szakaszai nem párhuzamosíthatók, és a Pacsirta utcában mélyült Mat-10 fúrásban sincs kavicsréteg abban a magasságban, ahol az Ifjúság úti homokbánya sok kavicsréteget tartalmaz.

A Pacsirta utcai homokbányáról nem áll rendelkezésünkre részletes, a kavicsbetelepüléseket is bemutató rétegsorleírás, így a 4. ábrán csak jelképesen ábrázoltuk tiszta homokként. Somogyi (1976a, valamint in Chikánné Jedlovszky & Kókai, 1980) finom-aprószemű homokot és ebbe települő 10-30 cm vastag, durvakavicsos homokbetelepüléseket ír le, összesen 10 m vastagságban. A 2011-ben a bánya alsó harmada környékén látható 3 m magas kis falszakasz változó szemcseméretű homokot és két, fehérre mállott metamorfittörmeléből álló kavicsbetelepülést tárt fel (5. ábra B, D). Ez alapján feltehető, hogy a bánya rétegsora nagyon hasonló volt az Ifjúság úti homokbányáéhoz. A rétegsor folytatása lefelé viszont ismert: a Mat-10 fúrás (4. ábra) a bánya talpával egy szintről, az utca túloldaláról indult.

A PTE TTK sportpálya melletti, kb. 10 m hosszú bevágásban az elmúlt években nem látszott jól a felső-miocén homok, ezért pontos rétegsort nem tudunk adni róla. A rossz feltártság ellenére egyértelműen megállapítható volt, hogy a rézsút alkotó homokos üledék litofáciесеi megegyeznek a környékbeli pannóniai feltárásokéival. A max. 2,5 m vastagságú rétegsort túlnyomórészt sárgászürke és rozsdabarna, finom-középszemű, limonitos homok alkotja. A fal felső részén összesen 20 cm vastag, 2-3 rétegből álló, közép-durvaszemű, limonitos kötésű, kemény homokkő volt látható (3. ábra E), amely néhány fokkal DK felé dőlt (dőlése a rossz feltártság miatt nem volt pontosan mérhető). A homokkő alatt alig cementált, homok mátrixú breccsa volt feltárva, amelynek kavicsanyaga koptatatlan, csillámos metamorf közettörmeléből állt. A feltárás a felső-miocén homok legalsó részét képviselheti, mert tőle keletre kb. 20 m-re, a Fekete utca túloldalán, néhány méterrel alacsonyabban már anizuszi mészkőbe ásták a szülészeti klinika új, déli épületének alapját 2015-ben.

4.2 Kavicsanyag

A kavicsbetelepülések anyaga a vizsgált feltárásokban többféle. A következőkben felsorolt kavics típusok gyakran magukban alkotnak egy-egy réteget, de keveredhetnek is.

1. Fehér, erősen mállott, koptatatlan metamorfittörmelék. Jellemző szemcsemérete a durvahomoktól a néhány cm-es kavicsokig terjed. A legtöbb betelepülést ez az anyag alkotja (5. ábra B, D, E), magában vagy más kavics típusokkal keveredve (5. ábra D). Több dm-es, koptatatlan tömbjei vastag homokrétegekben "úszva" is

előfordulnak (5. ábra C). Sűrűn, akár néhány mm-enként karbonátterek szövük át, emiatt írhatták le egy részét makroszkópos megfigyelés alapján karbonátként (Konrád & Sebe, 2013).

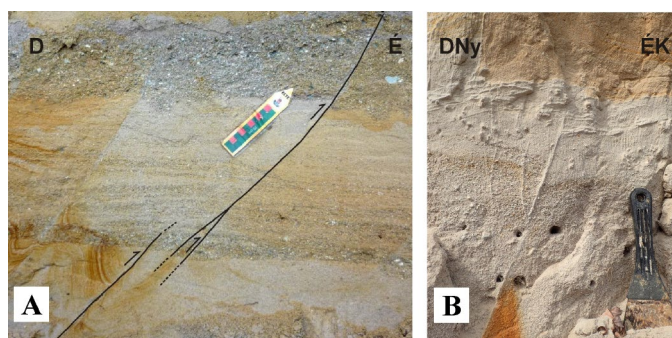
A kavicsok látható szövete megegyezik a homokra feltöltött kristályos kőzetekével. A pontos azonosítás végett vékonycsiszolatokat készítettünk a kavicsanyagból és a környéken számban előforduló, a korábbi leírásokban metamorf, gránit, migmatit, gneisz (Chikánné Jedlovszky & Kókai, 1980, Somogyi, 1976a) és bazalt (Wein, 1966) néven szereplő kristályos kőzetekből. A makroszkópos megfigyelések és a csiszolatok alapján megállapítható, hogy a pannóniai homok és a jura szenes összlet fölőlódott kristályos összlet változatos színei ellenére az Ifjúság úti és a Pacsirta utcai homokbányában, valamint a tőlük északra húzódó útbevágásokban (Szurdok dűlő, Fekete utca) megegyezik. Ugyanez a metamorf kőzet alkotja a fehér breccsa-, illetve kavicsrétegek anyagát, erősen mállott formában.

2. Alig-közepesen koptatott, zöld és vörös agyagkő és aleurolit, világosvörös, barna és szürke homokkő (csillámos is), szürke dolomit és márga. Jellemzően 0,5–2 cm méretűek, ritkán nagyobbak, a 15 cm-t is elérhetik. A vörös és zöld aleurolit és homokkő a középső-triász Patacsi Aleurolitból, a karbonátok a szintén középső-triász karbonátos sorozatból (Misinai Formációcsoport) származhatnak. Mindkét összlet előfordul a feltárásoktól északra 100-200 m-es távolságon belül. A szürke, finomszemű, csillámos homokkő kavicsok 4-5 cm-es méretet is elérnek. Anyaguk megegyezik a pannóniai üledékben számban álló homokkőrétegek anyagával, azok újrafeldolgozásából származhat.

3. Jól vagy kiválóan koptatott kavicsok. Jellemző szemcseméretük 5–15 cm, bár kisebb méretben is előfordulnak. Nagy részük kvarcit, riolit (a Gyűrűfüi Riolitból; 5. ábra D) és gránit, de előfordul aleurolit, homokkő és sötétszürke, tömött középső-triász mészkő (Viganvári vagy Lapsi Mészkő) is, utóbbi néha molluszkahéj-átmetszeteket tartalmaz. Egyes típusok, mint a riolit vagy a gránit, nem fordulnak elő számban a környéken, ahogy nagy kvarcitkavicsokat szolgáltató kőzet sem. Ez a felsorolt kőzettípusok jól koptatott kavicsaiból álló társulás jellemző ugyanakkor az alsó-miocén Szászvári Formációra. Ennek nem ismerjük sem felszíni, sem felszín alatti előfordulását a környéken, bár kavicsanyaga gyakran megjelenik áthalmozva a Nyugat-Mecsek déli részének pannóniai üledékeiben.

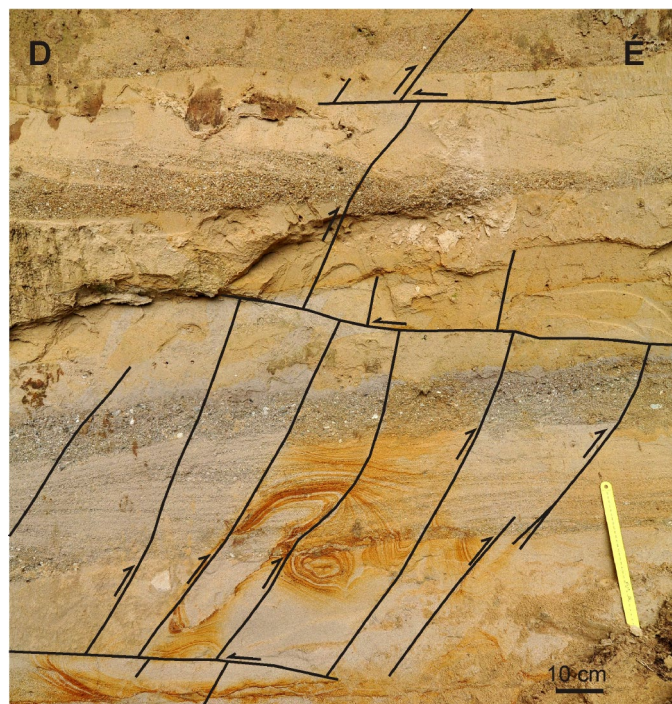
4.3 Tektonikai adatok

A homokban a legtöbb vetőt az Ifjúság úti homokbánya falában észleltük (6-7. ábra), de előfordultak a Pacsirta utcai bányában és a kutatóközpont munkagödreinek falában is. A Pacsirta utcában a feltárás kis mérete, a munkagödörben pedig a kőzetanyag laza volta miatt kevés az észlelés.



6. ábra: Az Ifjúság úti homokbányában megfigyelhető tektonikai elemek

A) Átlépő vető; B) Virágszerkezet; C) Antitetikus vetők

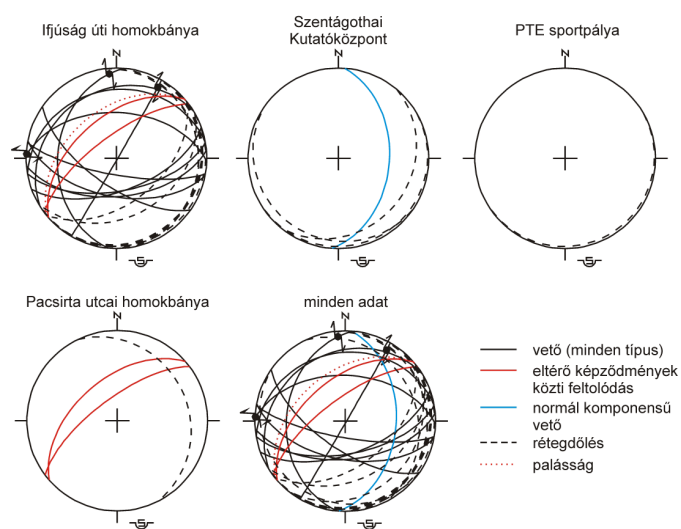


7. ábra: Szintetikus vetők, két egymást metsző vetőgeneráció (Lantos Zoltán fényképe)

A vetők gyakran csoportosan fordulnak elő. Ezek ritkán követhetőek egy méternél hosszabban, lefelé, felfelé elvégződnek, ami szinszediment keletkezésükre utalhat. Az egyértelműen egy generációhoz tartozó vetők között előfordulnak szintetikusak vagy antitetikusak (6. ábra C, 7. ábra), átlépő vetők (6. ábra A) és virágszerkezet (6.

ábra B) is. Jellemző dőlésirányuk északi vagy déli (8. ábra), ez a hajladozó geometria miatt kissé ingadozik. Vetőkarcok hiányában látszólagos elmozdulások állapíthatók meg az elvetett kavicsos durvahomok rétegek alapján. Az elmozdulás uralkodóan feltolódásos, az elvetés mértéke néhány cm. Vetőkarcokat csak néhány oldalelmozduláson sikerült észlelni, ezek alapján azonban az elmozdulás iránya nem volt biztosan megállapítható.

A feltárásokban mért tektonikai adatok sztereogramjait a 8. ábra mutatja. Megfigyelhető, hogy a rétegdőlés délies-délkeleties, a hegységtől elfelé mutató, általában enyhe, de néhány esetben meredek, 30 fok fölötti. A vetők feltolódások, eltolódások vagy e két komponenssel rendelkező elmozdulások (az ábrán fekete vonallal jelölve). Normál összetevőjű vetőt egyetlen esetben figyeltünk



8. ábra: A feltárásokban mért tektonikai adatok (alsó félgömbi vetület)

A pannóniai homok és a rátolt alaphegységi blokkok közötti feltolódások (pirossal jelölve), a palásság, néhány rétegdőlés, valamint a Pacsirta utcai homokbánya adatai Somogyi (1976a) munkájából átveve.

meg. A felső-miocén homok fölé tolódott metamorfit palásságának iránya megegyezik a képződmények közötti nagy feltolódási síkok orientációjával; e két adatot Somogyi (1976a) mérte.

5. Az eredmények értelmezése

5.1 Üledékképződési környezet

A viszonylag vastag, több dm-es kötegekből álló, vályús kereszttrétegzésű homokrétegek, valamint a síklemezes homokok erősen áramló vízre, itt litorális, azaz hullámbázis fölötti környezetre utalnak. A sok kavicsbetelepülés ellenére a rétegsorokban klasszikus abrációs kavics vagy konglomerátum – jól koptatott, helyi kőzetből álló kavicsréteg – nincs. A helyi, a környéken szálban megtalálható alaphegységi kőzetek törmeléke szögletes – ez azt

jelzi, hogy nem történt hosszas, hullámváz általi mozgás, ami lekoptathatta volna a törmeléket. Ez előfordulhat úgy, hogy a törmelék azonnal a hullámbázis alá került (pl. a meredek part leomlása után, gravitációs tömegmozgással a meredek aljzaton), az ilyen mélyebb vízi környezetnek azonban ellentmondanak a homokban látható üledékszerkezetek. Az is lehetséges, hogy a törmelék az uralkodóan homokos felhalmozódási környezetbe kerülve rövid időn belül betemetődött.

A csak egyes rétegekben, eróziós rétegtalppal megjelenő kavicsok arra utalnak, hogy a durva törmelék epizodikus szállítódott a tóba: az egyébként viszonylag finom szemcseméretű homokba időszakosan, egy-egy eseményhez kapcsolódva érkezett durva homok és kavics. A törmelékbeszállítási események oka többféle lehetett. Kiválthatta intenzív csapadékos esemény. Ez a lehetőség azért nem tűnik valószínűnek, mert a terület változatos közettani felépítése miatt már néhány 100 méter hosszú vízgyűjtőről történő lehordás is polimikt kavicsanyagot eredményezne, ami nem jellemző a feltárásokban. A relatív vízszint hirtelen megváltozása, a partvonal eltolódása is okozhat eróziót abrázio által; ezt szintén kiválthatja klimatikus esemény, de a hegység vertikális szerkezeti mozgása is. Törmeléket szolgáltathat továbbá vetőmozgás. Ha a vető felszínig hatol, és az 50° körüli dőlésű feltolódási síkok mentén a kristályos alaphegység egy-egy földrengés során némileg kiemelkedik, akkor az alátámasztás nélkül maradt, tektonikusan egyébként is erősen igénybevett, kis szilárdságú kőzettest leomolhat. Amennyiben ez a litorális zónában történik, az aprózódást segítheti a hullámverés is. Az omlás mellett szól a homokrétegekben magukban előforduló, több dm-es, koptatatlan metamorfittömbök jelenléte, melyeknek gravitációs úton kellett szállítódniuk. A tóba kerülő kisebb szemcseméretű kavicsot aztán a hullámváz keltette áramlások teríthették szét és szállíthatták el a parttól távolabb is: a metamorfittörmelékéből álló kavicsrétegeket tartalmazó Szigeti úti házalap kb. 500 m-re van a forrásközetektől.

A kavicsok erős mállottsága nem az üledékképződés időszakában uralkodó felszíni mállási viszonyokat jelzi. A kavicsrétegek törmelékanyaga annyira mállott – sokszor kézzel morzsolhatók a kavicsok –, hogy ilyen állapotban nem tudott volna szétesés és koptatódás nélkül a tóba szállítódni. Ez alapján a mállottság már betemetődés után alakult ki.

5.2 Ósföldrajzi kép

A homokban található kavicsanyag alapján rekonstruálhatjuk az egykori lehordási területet. Amennyiben a fent írtak szerint a lehordás (omlások és abrázio által) nagyon kis távolságról történt, akkor egészen pontosan visszatejthető a terület felépítése.

A tanulmányozott feltárásokban a kavics- és breccsarétegek anyaga nagyrészt a homokra rátolt közzettestekből

vagy a közvetlen mellettük/fölöttük elhelyezkedő alaphegységi kőzetekből származik. Hasonló a helyzet több más, környékbeli fúrásban feltárt pannóniai rétegsor esetében is. A 300 m-rel nyugatabbra, a Makár-hegy déli lejtőjén mélyült Mat-40 fúrás valószínűleg triász mészkőből álló aljzat fölött mélyült, erre enged következtetni a vele csapásirányban elhelyezkedő, igen közeli Mat-13, valamint a kissé DK-re mélyült Mat-41 alaphegységi szakasza (2. és 4. ábra). Pannóniai konglomerátumaiban az uralkodó anyag a zöldesszürke agyagkő és agyagmárga (Chikánné Jedlovszky & Kókai, 1980), ami a tőle közvetlenül északra kibukkanó Patacsi Aleurolit felső részének jellemző kőzete. A járulékos kavicsanyagok is azonosíthatók a területen egymás mellé tolódott képződmények anyagával: a „migmatit- és fillittörmelék” a homokra tolt metamorfittal, a „vörös és zöld szemcsék” szintén a Patacsi Aleurolittal. A dokumentációban itt is említenek jól koptatott, permi homokkőként azonosított, akár 2-3 dm-es kavicsokat. Ezek a vizsgált feltárásoknál írtakhoz hasonlóan a Szászvári Formáció áthalmazott kavicsanyagát képviselhetik. A fúrásban a kavicsok koptatottsága változatos, az agyagkő a fúrás felső részén többnyire koptatott, lejjebb a zöldesszürke agyagmárga, a fillit és a migmatit jórészt koptatatlan (Chikánné Jedlovszky & Kókai, 1980). A keletebbre mélyült Mat-13 fúrás változó mértékben koptatott kavicsanyaga a mészkőből álló alaphegység fölött kizárólag metamorf törmelék („fillit, migmatit”). Itt tehát a Pannon-tó partját metamorfittal alkothatta, míg a Mat-40 közelében már csak a metamorf sáv legvége lehetett az uralkodó Patacsi Aleurolit mellett. Közvetlenül a Mat-40 és a Mat-13 mellett (tőlük északra) ma nincsen feltárása a metamorf közzettestnek, a legközelebbi feltárás a Mat-40-től 200, a Mat-13-tól 100 m-re keletre fekszik. Feltételezhető, hogy a kavicsos homokhoz képest az alaphegység az üledékképződés után tolódott el, ez ebben az esetben jobbos oldalelmozdulást jelent.

Keletre haladva már bonyolultabb a kép. Míg a Patacsi utcai homokbányában metamorfittörmelékéből álló kavicsrétegeket láttunk, addig a bányától D-re 40-50 m-re mélyült Mat-10 fúrásban, ami a bányabeli rétegsor közvetlen fekéjének tekinthető, a leírás szerint csak jól koptatott, bitumenes mészkő kavicsok fordultak elő a homokban. Középső-triász mészkövek, amelyek forrásul szolgálhattak, legközelebb innen ÉK-re ismertek a Mat-8 fúrásban; jelenleg a fúrástól közvetlen északra csak metamorf kőzetek, majd Patacsi Aleurolit fordulnak elő. A Mat-10 alatti alaphegység szintén mészkő: a Szentágothai Kutatóközpont építését előkészítő PTE Science Building geotermikus szondafúrás (SCB a 2. ábrán) furadékmintái a fúrómester elmondása szerint 26-30 métertől lefelé sötétszürke, tömött középső-triász mészkőből álltak. Ez a mészkő a két fúrás helyén a homok lerakódásával lefedődött, de a közelben felszínen, lepusztulási helyzetben kellett lennie. A metamorf közzettest valamivel később kerülhetett ide, a rétegsor felső részének a kavicsanyagát

már ez szolgáltatta. A mészkő ezzel egy időben nagyjából elfedődhetett vagy eltávolodhatott, mert mészkőkavicsok csak az Ifjúság úti homokbányából ismertek, onnan is csak kis mennyiségben. A metamorf kőzettest keleti vége ma 400 m-re K-re van a Mat-10 fúrástól (2. ábra); ha a pannóniai üledéksor lerakódásának kezdetén még nem volt a fúrás mellett, akkor azóta legalább 400 m jobbos eltolódásnak kellett történnie, ha csak vízszintes elmozdulással számolunk. Mivel a vetőnek minden bizonnyal volt függőleges komponense is, a vízszintes elmozdulás ennél kisebb is lehetett. Jobbos eltolódást észleltünk az Ifjúság úti bánya homokjában is (8. ábra).

Érdekes módon a sportpálya feltárásához igen közel, attól nyugatra mélyült Mat-8 fúrás nem harántolt pannóniai képződményeket, a 20 méter vastag negyedidőszaki üledék alatt meredeken álló középső-triász mészkőben állt meg. Ennek oka a pannóniai üledék utólagos lepusztulása lehet.

Szintén a mészkőtestek mozgására utal egy ma már alig látható feltárás a Mat-40 fúrástól ~100 m-re DNy-ra, a Középmakár dülő útbevágásában. Itt a pannóniai homokra középső-triász gumós mészkő tolódott, a homokban ugyanakkor nincs mészkőkavics, csak a most északra lévő Patacsi Aleurolitból származtatható zöldes színű agyagkő, aleurolit és homokkő (Somogyi J. leírása in Chikáné Jedlovsky & Kókai 1980, 57. o., MA.135 sz. feltárás). Eszerint a mészkő itt is csak a feltárt homokösszetétel lerakódása után került a homok szomszédságába. Hasonló, a homokra tolódott mészkőtestet említ Ferenczi (1937, 401. o.) délebről, a mai Kürt utca nyugati oldaláról.

Olyan kavicsot nem találtunk, ami a jura szenes öszszletből származhat; ezek a kevéssé ellenálló litológia miatt valószínűleg nem őrződtek meg, vagy a sorozat szürke homokkövei nem ismerhetők fel egyértelműen a kavicsanyagban. Emiatt a szenes öszszlet késő-miocén helyzetét nem lehet nyomon követni.

Nyitott kérdés az alsó-miocén Szászvári Formációból származtatható kavicsok eredete. A formáció ma nem fordul elő a környéken, általában a Nyugat-Mecsek déli oldalán máshol sem. A késő-miocénben ugyanakkor viszonylag nagy területen meg kellett lennie, hiszen kavicsanyaga gyakori a pannóniai üledékekben. Erre utal az is, hogy pl. Patacstól nyugatra, Szentmiklós városrészben a szőlők között elszórtan ma is találni jól koptatott gránit- és riolitkavicsokat, olyan déli lejtőkön, ahová nem kerülhettek közvetlenül az ilyen kavicsokat szintén tartalmazó Jakabhegyi Homokkő főkonglomerátumából.

5.3 Szerkezetfejlődés

A forrásközetek egykori helyzetének fenti rekonstrukciója, valamint a megfigyelt tektonikai elemek alapján több fázisban történt szerkezeti mozgások nyomozhatók.

1. A területen a késő-miocén üledékképződés idejére már egymás mellett volt a ma feltárt, változatos anya-

gú kőzettestek nagy része.

2. A homok lerakódása során további mozgások történtek, melyek mind az alaphegységi, mind a fedőhegységi kőzeteket érintették. Ezek alapvetően eltolódásos (talán jobbos) és feltolódásos összetevőjűek voltak, azaz transzpressziót jeleznek. Elegendő karcos vető hiányában feszültségtér-számítást nem lehetett végezni. A vetők orientációja és a forrásközetek egykori helyzete alapján a legnagyobb horizontális főfeszültség iránya megközelítőleg ÉÉNy-DDK-i lehetett.

3. Hasonló kinematikájú mozgások a feltárt homok rétegsor lerakódása után is folytatódtak.

A rendelkezésre álló adatok alapján az alaphegységi kőzetek a késő-miocén során és azóta legfeljebb 400 m horizontális elmozdulást és/vagy ennél kisebb kiemelkedést szenvedhettek a vizsgált területen. Az alaphegységi kőzetblokkokat illetően a homok lerakódásának idejére rekonstruálható földtani képből a mai állapot akár néhány 10 méteres függőleges mozgásokkal is előállítható. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy valóban csak ekkora mozgás történt, csak annyit, hogy ennél nagyobb nem tudunk bizonyítani ezen a területen. Ez az érték mindenesetre jelentősen kisebb, mint amennyit Hámor (1966) becsül, részben az általuk is vizsgált területre alapozva. Szerinte a Mecsek alaphegységi tömbjének miocén utáni kiemelkedése az előtérhez képest 500-600 m, egyrészt kelet-mecseki adat (a Zengővárkony-35 fúrás rétegsora), másrészt éppen a Makár-hegy szelvénye (az Ifjúság úti homokbánya) alapján. A teljességhez hozzátartozik annak kérdése is, hogy mit tekintünk a Mecsek előtérének. A hegység és környezete közti mozgások a Mecsek-alja-öv mentén zajlottak, amely szélesebb, mint az általunk és Hámor (1966) által is vizsgált terület. Bár a Mecsek-alja-öv legfontosabb vetői a vizsgált északi peremen helyezkednek el, és valószínűleg ezek mentén történtek a legnagyobb elmozdulások, a zóna délebbi részének kisebb feltolódásai is hozzájárulhattak a relatív emelkedéshez. Valószínűtlennek tartjuk azonban, hogy ezek mozgása jelentősen (nagyságrendileg) módosította volna az összképet.

Konrád (1998) szerint a Pécs nyugati peremén mélyült 4582. sz. fúrás pannóniai kavicsanyaga alapján legalább 400 m-t emelkedett a fúrástól közvetlenül északra található alaphegységi sáv. Ha a mozgások az Ifjúság útjához hasonló módon történtek, akkor a 4582. sz. fúrás esetén is lehetséges, hogy a kavicsot a késő-miocénben még nem ez a közetsáv, hanem a mintegy 100 m-rel északabbra elhelyezkedő mészkő szolgáltatta, és csak később került egy vékony "szelet" Patacsi Aleurolit a mészkő és a fúrással feltárt pannóniai kavicsos homok közé.

5.4 Kor

Ősmeradvány egyik vizsgált feltárásból sem ismert. A közelben az Ifjúság úti homokbánya és a Szigeti úti hálzalap között fekvő, rétegtanilag talán alacsonyabb

szintet képviselő homokból (Kleb, 1973) került elő *Congeria rhomboidea* (régii Alsómakár úti [ma Tiborc u.] homokbánya, Vadász, 1960, 490. o.). Ez a kagylófaj a *Congeria rhomboidea* molluszk-biozóna jelzőfaja, a homok 8 millió évnél fiatalabb korát mutatja (Magyar & Geary, 2012). A Mat-40 fúrásban 8 m mélyen, pannóniai konglomerátumban találtak *Lymnocardium* cf. *proximum* kagylót (Korpás Lászlóné határozása; Chikánné Jedlovsky & Kókai, 1983). Ez a faj nem korjelző, de beleillik a *Congeria rhomboidea* biozóna molluszkátársulásába (Magyar I. ex verb.). A fent tárgyalt mozgások tehát a késő-miocén végén, a 8-6 Ma közötti időszakban, valamint ez után történtek.

6. Következtetések

A pécsi Ifjúság útja környékén megtalálható pannóniai homokos üledékek a késő-miocén viszonylag fiatal szakaszáról, a 8-6 millió év közötti időszak egy részéről tanúskodnak. A Pannon-tó hullámverése itt meredek, sziklás partot ostromolt, ahova betorkolló folyók nem szállítottak számottevő hordalékot. A homokba települő, koptatatlan törmelékot tartalmazó kavicsrétegeket legvalószínűbben szinszedimentet vetőmozgás üledékeiként értelmezhetjük; valószínűsíthető, hogy keletkezésük a feltolódások aktivitásához köthető.

A kavicsrétegek forrásközeteinek azonosításával rekonstruálható az ősföldrajzi kép az adott időszakra, bizonyos pontossággal visszafejthető, hogy hol milyen anyagú kőzettestek helyezkedtek el. A változatos törmelékanyag arra utal, hogy az üledékképződés ideje alatt már egymás mellett helyezkedett el a Mecsekalja-övben ma látható, igen eltérő kőzettípusok nagy része. A forrásközetek és a kavicsanyagok idő- és térbeli változásából megállapítható, hogy a vetőzóna egyes elemei a homokos rétegsor lerakódása előtt, alatt és után is mozogtak: az egymás mellé tolódott kőzetblokkok helyzete kis mértékben változott egymáshoz és a pannon-tavi üledékekhez képest is. Az elmozdulások túlnyomórészt eltolódásos és feltolódásos jellegűek voltak. A miocén óta a hegység emelkedése az előtérhez képest a Mecsekalja-öv mentén néhány 10 - néhány 100 m közé tehető.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Magyar Imrének az ősmaradványok, Sztánó Orsolyának az üledékszerkezetek értelmezésében nyújtott segítséget. A munkát támogatta az OTKA (PD 104937), a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, valamint a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.

8. Irodalomjegyzék

- Chikán, G., & Chikán, G-né (1978). Pécs város építés-földtani térképsorozata, Mecsekalja (3. sz.) 1:5 000-es méretarányú térképlap, Földtani észlelési térkép
- Chikán, G., & Chikán, G-né (1982). Pécs város építés-földtani térképsorozata. Magyarürög (5. sz.) 1:10 000-es méretarányú térképlap, Földtani észlelési térkép
- Chikán G., Chikánné Jedlovsky, M., & Kókai, A. (1979). Pécs város építésföldtani térképsorozata. Patacs (10. sz.) 1:10 000-es méretarányú térképlap, Földtani észlelési térkép
- Chikánné Jedlovsky, M., & Kókai, A. (1980). Pécs város építésföldtani térképsorozata. *Patacs (10. sz.) 1:10 000-es méretarányú térképlap. Földtani észlelési magyarázó I-III.* Budapest.
- Chikánné Jedlovsky, M., & Kókai, A. (1983). Felső-pannóniai abráziós színlő a Misina-Tubes vonulat (Mecsek hegység) DNy-i oldalán. *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1981. évről*, 249-261.
- Ferenczi I. (1937). Adatok a Pécs környéki harmadkori medencerész földtani viszonyainak ismertetéséhez. *Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1929-32-ről*, 365-406.
- Hámor, G. (1966). Újabb adatok a Mecsek hegység szerkezetföldtani felépítéséhez. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1964. évről*, 193-206.
- Hámor, G. (1970). A Kelet-mecseki miocén. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve*, 53(3), 1-371.
- Kleb, B. (1973). A mecseki pannon földtana. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve*, LIII(3), 750-943.
- Konrád, Gy. (1998). *A Ny-Mecsek késő-kainozóos fejlődéstörténete.* Jelentés a Bodai Aleurolit formáció 1995-1998. évi kutatásáról. Mecsekérc Zrt. Adattár, Pécs, 58 p.
- Konrád Gy., Sebe K. (2010). Fiatal tektonikai jelenségek új észlelései a Nyugati-Mecsekben és környezetében. *Földtani Közöny*, 140(2), 445-468.
- Konrád, Gy., & Sebe, K. (2013). *Perm-triász és pannóniai törmelékes üledékek a Mecsekben. Kirándulás vezető, terepbejárás az MTA Szedimentológiai Albizottsága és az MFT Általános Földtani Szakosztálya szervezésében, 2013.04.12-13.*
- Magyar, I., & Geary, D. H. (2012). Biostratigraphy in a Late Neogene Caspian-type lacustrine basin: Lake Pannon, Hungary. In O. V. Baganz, Y. Bartov, K. Bohács, & D. Nummedal (Eds.), *Lacustrine sandstone reservoirs and hydrocarbon systems* (Vol. AAPG Memoir 95, pp. 255-264).
- Sebe, K., Konrád, Gy., & Magyar, I. (2013). A legmaga-

sabban fekvő mecseki pannon-tavi üledékek helyzete és kora. *Földtani Közlöny*, 143(1), 168-173.

Sebe, K., Magyar, I., Csillag, G., & Sztanó, O. (2015). A mecseki pannóniai üledékek rétegtana: új adatok, eredmények és kérdések. In V. Dályay & M. Sámson (Eds.), *Tisia Konferencia, Pécs, 2015. február 27-28* (pp. 72-76). Pécs: Magyarhoni Földtani Társulat.

Somogyi, J. (1976a). Pécs-Makár, Pécs bányatelep M=1:10 000-es földtani térképre eső feltárások leírása [L-34-61-C-d-2 Pécs földtani térkép feltárásainak leírása. Mecsekérc Zrt. adattár, Pécs.

Somogyi, J. (1976b). Pécs és pécsbányatelepi egyesített földtani térkép, 1:10 000. Magyar Bányászati és földtani Hivatal adattára, Pécs.

Szederkényi, T. (1970). *A mecsekalja vonal földtani térképe Pécs városában*. Pécs.

Vadász, E. (1935). *A Mecsekhegység*. Budapest: Magyar Kir. Földtani Intézet.

Vadász, E. (1960). *Magyarország földtana*. Budapest: Akadémiai Kiadó.

Wein, G. (1966). *Pécs hegység szerkezeti képe*: MTA Dunántúli Tudományos Intézet

Normalizált indexek alkalmazhatósága automatikus területi klasszifikációhoz Magyarországon Baranya megye példáján

Farkas Gábor

doktorandusz, Pécsi Tudományegyetem, Földtudományok Doktori Iskola, E-mail: randal73@gamma.ttk.pte.hu

Absztrakt

Az első multispektrális adatok megjelenése óta foglalkoztatja a kutatókat az ilyen adatok kiértékelése különböző módszerekkel. Igazán elterjedt módszer az automatikus, vagy felügyelt klasszifikáció, mely során különböző spektrális tartományokban készült képekből dimenziócsökkentő eljárásokkal osztályozott állományok készülnek. Egyik fontos célja a klasszifikációs eljárásoknak a felszínborítás térképezése, monitorozása. A tanulmány erre a célra mutat be részletesen egy teljesen automatizálható, költséghatékony megoldást. Bár a kutatáshoz használt, népszerűbbek közé tartozó négy normalizált index (NDVI, NDWI, NDBaI, NDBI) alkalmazhatósága Magyarország területén megkérdőjelezhető, a spektrálisan leginkább eltérő felszínborítási formákat (vízborítás, sűrű növényzet, kopár terület) az ezekkel készült klasszifikáció jól kirajzolja.

Kulcsszavak

Baranya, képfeldolgozás, klasszifikáció, klaszteranalízis, maximum likelihood classification, normalizált indexek

DOI: 10.17799/2015.1.13

1. Bevezetés

A távérzékelés tudományának manapság csupán apró szeglete a multispektrális szenzoroktól származó képek GIS rendszerek segítségével történő elemzése. Ezek a képek túlnyomó részben műholdakról származnak. Mika et al. (2011) szerint már az 1950-es évek óta foglalkoztatják a kutatókat a képi adatok feldolgozásában rejlő lehetőségek, míg az első multispektrális szenzor prototípusa 1962-ben született meg (Lein 2003). Az elmúlt 50 év alatt jelentős fejlődésen mentek keresztül mind a szenzorok, mind az elemzési eljárások. Mára fejlett algoritmusok, mint az MLC (maximum likelihood classification), vagy a MAP (maximum a posteriori) állnak a kutatók rendelkezésére, hogy ezeket a műholdképeket akár automatikusan, akár felügyelten kiértékeljék. Bár a távérzékelő műholdak egy részének – mint például a 4m-es felbontású IKONOS (Garrison et al. 2008) – adatai kereskedelmi forgalomban vannak, ingyenes minőségi adatokhoz sem bonyolult hozzájutni. Az Egyesült Államok adatpolitikájának köszönhetően például ingyenesen hozzáférhetünk az egyik legnagyobb műholdkép adatbázishoz, a Landsat archívumhoz (Wulder et al. 2012).

Az USGS (2015) közlése alapján az első Landsat műholdat, a Landsat 1-et 1972-ben állították pályára. Ez a műhold mindössze négy spektrális csatornán rögzített.

Jelenleg a Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +), és a Landsat 8 OLI (Operational Land Manager) szolgáltat folyamatosan frissülő képeket nyolc, illetve kilenc spektrális tartományban. Az 1972 óta felvett adatok napjainkban ingyenesen elérhetőek, általuk a földfelszínén végbemenő változások széles időintervallumon elemezhetőek. Ezeknek az elemzéseknek egyik célja a felszínborítás vizsgálata. Az ilyen típusú kutatások tárgya lehet egy egyszerű terület-, vagy földhasználati térkép előállítás, vagy akár egy specifikus faj terjedésének, térbeli eloszlásának vizsgálata.

A nyers műholdképek adattárolási megfontolásokból kvantált formában tartalmazzák az érzékelt információt. Minden műholdkép és szenzor esetében visszaszámolhatóak a rögzített értékek. A NASA (2011) által kiadott Landsat 7 kézikönyv szerint a kvantált értékek radiancia, és reflektancia értékekké számolhatóak vissza, melyek a szenzort érő sugárzás mennyiségét, valamint a visszavert energia arányát reprezentálják. Amíg általában a reflektancia értékek szolgálnak egy távérzékelési vizsgálat alapjául, más derivatív termékek is alkalmazhatóak hasonló célra. Tipikusan ilyen adatok a normalizált indexek. Ahogy Eredics (2007) is összefoglalja, ezek dimenzió nélküli mérőszámok. Az NDVI a növényzet klorofill tartalmával áll összefüggésben. Gyakori mérőszám még a Gao (1996) által bevezetett NDWI (normalizált ned-

vességindex), mely a növényzet nedvességtartalmával korrelál. Kevésbé ismert, ámbar igen hasznos normalizált index az NDBI, azaz a normalizált beépítettség index (Chen et al. 2006), valamint az NDBaI, vagyis a normalizált kopárság index (Zhao et al. 2005). Amíg az NDBI a beépített területekre érzékeny, az NDBaI a vegetációmentes, kopár területeket emeli ki.

Mivel ezek az indexek azon eltérő karakterisztikáit emelik ki a felszínnek, melyek alkalmasak lehetnek egy általános felszínborítottságot ábrázoló állomány elkészítéséhez akár teljesen automatikus eszközökkel is, ez a tanulmány hipotézise. A hipotézist erősíti, hogy Chen et al. (2006) már sikeresen alkalmazott egy hasonló módszert Kína területén belül, ahol az indexek jó elszeparálhatóságából adódóan határértékek segítségével sikerült hét felszínborítási típust (kopár terület, víz, halastó, félig kopár terület, beépített terület, erdő, termőföld) nagy pontossággal leválogatnia.

A tanulmány célja egy teljesen automatizálható módszer pontosságának a vizsgálata, mely spektrális indexeket használ az automatikus osztályozáshoz. Így, amennyiben bizonyítást nyer a módszer alkalmassága, azt költséghatékony módon lehet alkalmazni, mivel az emberi munkaerő költsége csak egyszerű.

2. Módszerek

2.1. Kiinduló adatok

Elsőként pontos referenciaadatokra volt szükség, mely a pontosságvizsgálatot megalapozza. Kritériuma volt a referenciaként szolgáló állománynak, hogy ingyenes legyen, mivel a tanulmánynak nem volt költségvetése. Így a választás a FÖMI által kiadott CLC50 (Corine Land Cover) állományra esett, amely Magyarország 2000-es felszínhasznosítási viszonyait ábrázolja nagy méretarányban (1:50 000). Ahogy Büttner et al. (2009) összefoglalja az adatokhoz kiadott jelentésben, a CLC50 felbontása a kötelező CLC100-as adatoknak vonalas elemekre a duplája, míg a területi felbontása több mint ötszöröse. A helyzeti pontosságot 20m alattinak adja meg, a tematikus megbízhatóságot pedig 90% felettinek. Ezen technikai paraméterek alapján a CLC50 vektoros állomány megbízható referenciaként szolgálhat a kutatáshoz.

Az elemzés második kiinduló állománya az osztályozandó műholdkép. Erre a célra az ingyenesen elérhető Landsat 7 állományra esett a választás. A CLC50 állomány a 2000-es állapotot örökíti meg, továbbá Chen et al. (2006) is ETM+ szenzorból származó adatokkal végzett sikeres osztályozást, így megfelelőnek tűntek a 2000-es Landsat 7 felvételek. Megfigyelhető a CLC50 állományban Baranya megyén belül a kopár (növényzetrel nem borított) területek majdnem teljes hiánya, viszont ez egy meghatározó kategória az elemzésben. Ennek a problémának orvosolására a tanulmány októberi felvételekre támaszkodik (2000. október 14.), amikor már

az utolsó őszi aratások is javarészt megtörténtek. Így a CLC50 helyes klasszifikációjával a referencia is helyes lesz, valamint az osztályozó algoritmus is elég mintához jut a helyes klasszifikáció elvégzéséhez. Természetesen azokon a területeken, ahol a betakarítás még nem történt meg az előbb említett időpontban, a pontossági elemzés hibás lesz, azonban a mintaterület nagysága révén ez a hibaszázalék elhanyagolható.

2.2. A CLC50 állomány újraosztályozása

Kezdő lépésként a referenciaadatot, azaz a CLC50 vektoros állományt az októberi viszonyoknak megfelelően kellett újraosztályozni. Fontos megemlíteni, hogy a Corine Land Cover projekt célja egy konzisztens európai felszínborítási téradatbázis létrehozása melyben terület-használati elemek is fontos szerepet kapnak (Feranec et al. 2007), míg a kutatás célja csak a felszínborítás automatikus osztályozása. A két termék eltér, méghozzá idő dimenzióban. A területhasználat független a szezonális változásoktól, míg a felszínborítás függ a felvétel időpontjától. A két termék közös nevezőre hozásának kézenfekvő módszere a területhasználati állomány újraosztályozása az elméleti szezonális viszonyoknak megfelelően.

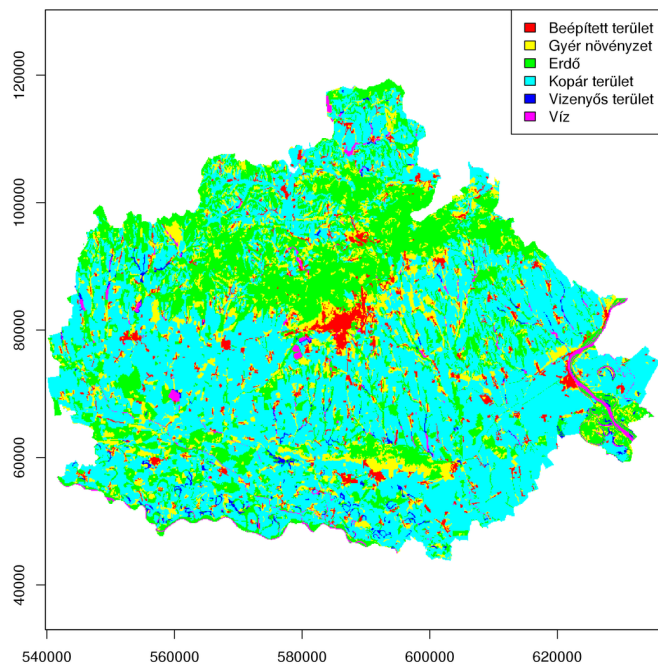
A FÖMI (2009) által kiadott CLC50 nomenklatúrából nem csupán az osztályelemek olvashatók ki, hanem azok rövid leírása és az osztályok kritériumrendszere is. Az újraosztályozást így az egyes osztályok és alosztályok értelmezésével el lehet végezni (1. táblázat). Minden csoport és alcsoport a legmeghatározóbb területhasználati forma alapján került besorolásra. Azok a mezőgazdasági területek szakadtak ketté, ahol a szántóföldek a kopár területekhez lettek sorolva, míg a szőlők, és a természetes növényzettel borított területek a gyér növényzethez. Az erdők és a vizenyős területek nem szezonális felhasználási formák, így újraosztályozásuk egyértelmű volt, míg a vízzel borított területekhez a természetes vizek mellett besorolásra kerültek a folyékony hulladéktároló telepek.

Osztály	Kat.	CLC50 kód
Beépített terület	1	1100 – 1300, 1420 – 2000, 12110 – 13000, 1331, 2113
Gyér növényzet	2	1410 – 1420, 2200 – 2430, 2432, 2433, 2435, 3240 – 3300, 22110 – 25000
Erdő	3	3100 – 3240
Kopár terület	4	1310 – 1321, 2100 – 2200, 3300 – 4000, 2431
Vizenyős terület	5	4000 – 5000
Víz	6	5000 – 10000, 50000 – 60000, 1322

1. táblázat. CLC50 októberi újraosztályozása

A hat vizsgálandó osztály kialakítása, és a vektoros állomány újraosztályozása után az utolsó lépés raszterre alakítani a poligonokat. Mivel a Landsat 7 felvételek tér-

beli felbontása 30 m, az átalakított referencia állomány (1. ábra) felbontása is erre az értékre esett.



1. ábra. CLC50 állomány újraosztályozva, raszterre konvertálva

2.3. A spektrális indexek létrehozása

Az indexek előállításához először a Landsat műholdképek átalakítására volt szükség. Az elemzést megkönnyítette, hogy a felvételek felhőborítottsága 0%. A műholdképek digitális számokból állnak, azaz az információt kvantált formában tartalmazzák, egy bájtra transzformálva. Ebből a radiancia értékeket elő lehet állítani GRASS 7 segítségével. A művelet az `i.landsat.toar` modullal végezhető el, mely a GRASS Development Team (2016) által kiadott kézikönyv szerint először radiancia értéket számol (1. egyenlet), majd azokat átszámolja reflektancia értékekké (2. egyenlet). A modulnak szüksége van az adott felvétel összes sávjára és a felvétel metaadataira, mely a felvételekkel egy archívumba van csomagolva.

$$L_{\lambda} = Gain \times QCAL + Bias$$

$$\text{ahol } Gain = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN}$$

$$\text{és } Bias = LMIN_{\lambda} - Gain \times QCALMIN(1)$$

A NASA (2011) Landsat 7 kézikönyvéből kiolvasható, hogy az $LMAX_{\lambda}$ és az $LMIN_{\lambda}$ értékek sávfüggő kalibrációs konstansok, a $QCALMAX$ 255, azaz a kvantálás felső értéke, a $QCALMIN$ a kvantálás alsó értéke, mely az előfeldolgozást végző szoftvertől függően 0 vagy 1-es értéket vesz fel, a $QCAL$ pedig az adott raszter kvantált értéke (digitális száma). Végül az L_{λ} a radiancia érték $W/m^2 \times sr \times \mu m$ -ben.

$$\rho_p = \frac{L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \times \sin \alpha_s / (\pi \times d^2)}(2)$$

A GRASS kézikönyve szerint az $ESUN_{\lambda}$ a Nappól érkező sugárzás közepes értéke, az α_s a Nap magassági szöge, míg a d érték a közepes Naptávolság csillagászati egységben kifejezve a felvétel időpontjában. A ρ_p egy mértékegység nélküli planetáris reflektancia érték, mely a visszaverődő sugárzás arányát mutatja meg a beérkező sugárzashoz képest. Ez a képlet eltér a Landsat 7 kézikönyvben olvashatótól (3. egyenlet), azonban mivel θ_s , azaz a Nap zenitszöge komplementere a Nap magassági szögének, könnyedén belátható, hogy $\sin \alpha_s = \cos \theta_s$.

$$\rho_p = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \cos \theta_s}(3)$$

Miután a GRASS kiszámolta a reflektancia értékeket, a négy különböző normalizált index kiszámítása következett. Chen et al. (2006) alapján az NDVI (4. egyenlet) és az NDWI (5. egyenlet) mutatók reflektancia értékből számolandóak, míg az NDBI (6. egyenlet) és az NDBaI (7. egyenlet) kvantált értékekből, azaz digitális számokból.

$$NDVI = \frac{\rho_{B4} - \rho_{B3}}{\rho_{B4} + \rho_{B3}}(4)$$

A ρ_{B3} a hármassáv, azaz a vörös spektrális tartomány reflektancia értékét jelöli, míg a ρ_{B4} a négyessáv, azaz a közeli infravörös tartomány reflektanciáját. Az NDVI mutató főként a növényzet és a felszíni vizek elkülönítésére alkalmas.

$$NDWI = \frac{\rho_{B4} - \rho_{B5}}{\rho_{B4} + \rho_{B5}}(5)$$

A ρ_{B5} a közepes infravörös tartomány, azaz az ötös sáv reflektancia értékeit jelöli. Gao (1996) alapján ez a mérőszám a vegetáció nedvességtartalmával korrelál, így alkalmas lehet a sűrű növényzet, a gyér növényzet, és a mocsári növényzet elkülönítésére.

$$NDBI = \frac{DN_{B5} - DN_{B4}}{DN_{B5} + DN_{B4}}(6)$$

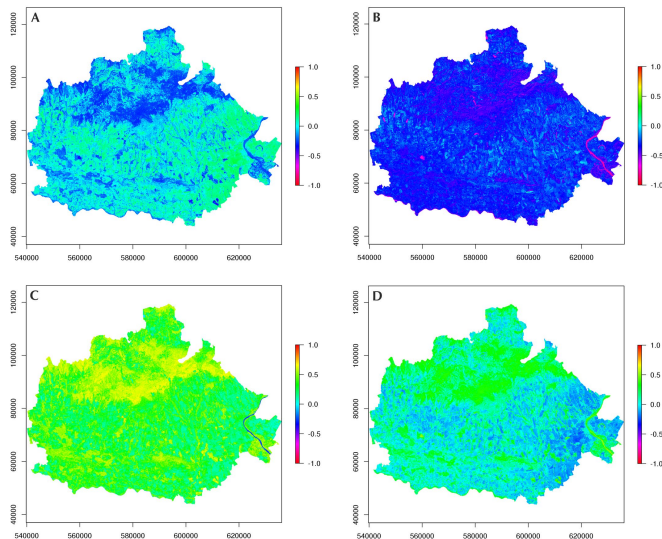
A DN_{B4} és a DN_{B5} a négyes és ötös sávok kvantált értékeit jelölik. Chen et al. (2006) szerint ez az index a beépített területekre érzékeny.

$$NDBaI = \frac{DN_{B5} - DN_{B6}}{DN_{B5} + DN_{B6}}(7)$$

A DN_{B6} a hatos sáv, azaz a termális infravörös tartomány kvantált értékeit jelöli. Zhao et al. (2005) vezette be ezt az indexet a kopár területek automatikus leválogatására, és azok további alosztályokba való besorolására.

Az elkészült indexeken (2. ábra) jól elkülönülnek a legmeghatározóbb felszínborítási típusok, mint a Duna vonala, vagy a Mecsek erdővel borított területe.

Az alaptérképek klaszifikációjának van felügyelt és automatikus módja. A felügyelt módszer során a felhasználó mintaterületeket jelöl ki, melyek az adott terület-használati kategóriát reprezentálják. Ez a lépés is auto-



2. ábra. Spektrális indexek A: NDBI, B: NDBaI, C: NDVI, D: NDWI

matizálható klaszteranalízis segítségével. Erre a GRASS i.cluster modulja szolgál, mely a forráskód alapján K-közép módszerrel dolgozik. A K-közép módszer egy iteratív klaszterezési eljárás, mely Ding et al. (2004) szerint a lokális minimum felé konvergál (8. egyenlet). A lokális minimum minden egyes klaszternél a klaszter közepe és a hozzá tartozó pontok közötti távolságnégyzetek összege (négyzetes hiba).

$$J_K = \sum_{k=1}^K \sum_{i \in C_k} (x_i - m_k)^2 \quad (8)$$

A felügyelt klasszifikáció első lépéséhez hasonlóan, a klaszterezési eljárás is mintavételezésen alapszik. A kutatáshoz a mintaterületen minden 9 km²-re egy minta jutott, ezért is volt fontos, hogy minden elkülönítendő típushoz elegendő referenciaterület tartozzon. A K-közép módszer kötelező paramétere még az osztályok száma, mely az 1. táblázatnak megfelelően 6 volt.

A következő lépés az automatikus osztályozásban a mintaterület rasztereinek osztályozása az indexek alapján. A klaszteranalízis végeredménye egy spektrális lenyomat minden csoportra, mely tartalmazza az indexek csoportspecifikus átlagait és kovariancia mátrixait. A spektrális lenyomatok alapján a GRASS i.maxlik modulja képes minden raszterre megfelelő osztályba sorolni. Ez a modul az MLC módszert használja, mely Ahmad et al. (2012) alapján a Bayes statisztika módszereivel vizsgálja minden raszterre azt a valószínűséget, hogy egy bizonyos osztályba tartozik (9. egyenlet). Kiválasztja azt az osztályt, ahová az adott raszter legnagyobb valószínűséggel sorolható, majd besorolja. Opcionális kimenetként készít egy raszteres állományt, melyben az értékek a helyes osztályba sorolás valószínűségét reprezentálják. Ezt a valószínűséget az algoritmus χ^2 próbával állapítja meg.

$$\forall i. P(M_i | \omega) > P(M_j | \omega) \rightarrow x \in M_i \wedge j = i$$

$$\text{ahol } i \in \{2 \dots |M|\}, j = 1$$

$$P(M_i | \omega) = \frac{P(\omega | M_i) \times P(M_i)}{P(\omega)}$$

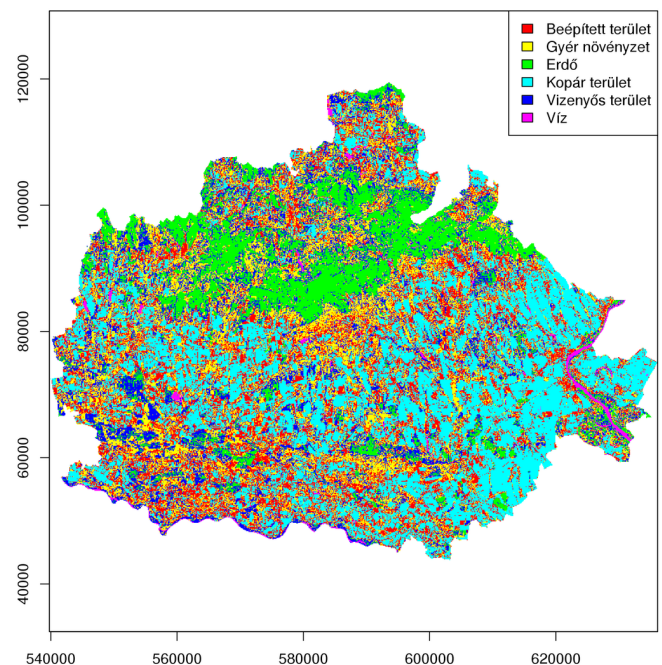
$$\text{ahol } P(\omega) = \sum_{i=1}^{|M|} P(\omega | M_i) \times P(M_i) \quad (9)$$

Az M az osztályok halmazát jelöli, az x egy adott rasztert, míg az ω az adott raszter jellemvektorát a különböző indexeken felvett értékei alapján.

3. Eredmények

3.1. Pontosságvizsgálat

Az elkészült klasszifikáció az összehasonlíthatóság érdekében újraosztályozásra szorult. Az eredmény (3. ábra) pontossága egy Kappa vizsgálat (Cohen 1960) során számolt százalékos, és κ értékekkel jellemezhető (GRASS-ban r.kappa modul). Congalton (1991) szerint a kiértékelt raszter valódi pontosságát csak közelíteni lehet, a referenciákat tartalmazó minta nagyságától függően alulról, vagy felülről. Különlegessége az ebben a kutatásban szereplő vizsgálatnak, hogy a valódi pontosságot felülről közelíti meg, így referenciaként az egész vizsgálati területre generált és újraosztályozott CLC50 állományt használja.



3. ábra. Az automatikus klasszifikáció eredménye

Bár már a térképen is látszik, hogy az eredmény nem csupán zajos, de a kategóriák többségében pontatlan. Ezt a Kappa Indexel történt pontosságvizsgálat eredménye

(2. táblázat) is alátámasztja. A teljes területnek csupán 50,62%-át sikerült helyes osztályba sorolni.

Osztály	Com.	Om.	κ
Beépített terület	91,79%	60,95%	0,04
Gyér növényzet	70,06%	49%	0,21
Erdő	8,5%	55,16%	0,88
Kopár terület	2,82%	45,35%	0,94
Vizenyős terület	98,73%	80,17%	0
Víz	21,75%	39,36%	0,78
Összesen			0,35

2. táblázat. A pontosságvizsgálat eredménye.

A Com. oszlop a kategóriák Commission error százalékos értékét tartalmazza, mely a referenciaosztályon kívül eső extra raszterek arányát jelöli. Az Om. oszlop az Omission error szintén százalékos értékét mutatja, mely a referenciaosztályból hiányzó raszterek arányát adja meg (Congalton 1991). Ez a két fajta hiba nagyszerű kiegészítő információkat ad az egyes osztályok hibáinak természetéről. A κ érték a teljes pontosságot fejezi ki, mely 0-tól 1-ig terjedhet. Landis és Koch (1977) szerint 0,61-es értéktől megfelelőnek, míg 0,81-es értéktől majdnem tökéletesnek tekinthető a klasszifikáció.

Bár a kopár területek, az erdők, és a vizek magas κ mutatóval rendelkeznek, a hiányzó raszterek aránya igen magas. A jelenség adódhat a CLC50 állomány generalizált természetéből (Büttner et al. (2009) alapján maximum 10%-ban), azonban jelen esetben inkább valószínűsíthető az indexek alkalmatlanságából adódó pontatlanság, de nem zárható ki a CLC50 hibás újraosztályozásából származó pontatlanság sem.

3.2. A hiba természetének vizsgálata

3.2.1. Újraosztályozásból származó hiba

Az indexek alkalmatlanságának bizonyítására a tanulmány a meghatározó lépéseket vizsgálta, ezek közül is azokat, melyek egyszerűen meghatározhatóak. Ilyen az újraosztályozásból származó hiba, valamint a hibás

klasszterezés. Az újraosztályozásból származó hiba kizárása érdekében érdemes a hibás rasztereket (3. táblázat) jobban szemügyre venni.

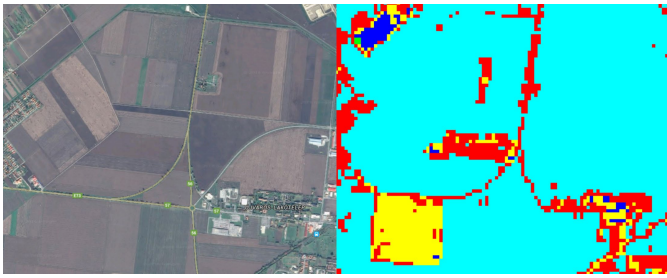
A hibás raszterek vizsgálatához a referenciaállomány és a végeredmény közötti különbségből indultam ki. A különbségeket a hiba típusa szerint csoportosítottam, ahol az első szám a helyes csoport azonosítószámát (1. táblázat) mutatja, a második pedig azt az osztályt, amibe a klasszterezés besorolta. Ezeket a csoportokat az eredeti CLC50 állomány alapján alosztályokra bontottam, és megvizsgáltam az alosztályokon belüli hibás raszterek arányát az összes hibás raszterhez (hibaarány), az alcsoportba tartozó összes raszterhez (osztályarány), és a teljes mintaterülethez (teljes arány) képest.

Az eredményből kiolvasható, hogy a legnagyobb hibákat okozó alosztályok osztályaránya az újraosztályozásban nem utal hibára. A klasszifikációban a legnagyobb hibát a 2111-es alosztály okozta, melyek a FÖMI (2009) által kiadott nomenklatúra alapján nagytáblás szántóföldeket jelöl. Az alosztály 35,25%-át rossz osztályba sorolta, tehát az újraosztályozás megváltoztatása rontana a klasszifikáció pontosságán. A hibát súlyosbítja, hogy a hibás besorolás többsége beépített terület lett, ami két dologra is utal. Egyrészt az indexek alkalmatlanok lehetnek néhány felszínborítási kategória határozott elválasztására a környezetüktől (pl. kisebb szőlők). Másrészt a kiinduló adatok felbontása túl nagy ahhoz, hogy kisebb mesterséges elemeket (pl. utak) pontosan lehatároljon, ugyanakkor nem elég nagy ahhoz, hogy ezek az elemek ne torzítsák el a végeredményt (4. ábra). Az alosztály 10,41%-a gyér növényzetként került besorolásra, ami olyan területeket is jelölhet, ahol 2000. október 14-én még nem történt meg a betakarítás.

A táblázat azt is megmutatja, hogy vannak olyan alosztályok, melyek átsorolása javíthat az újraosztályozás pontosságán. A 3115-ös alosztály, azaz a lombos erdő ültetvények nagyobb része rossz osztályba került. Itt az átsorolás nem indokolt, mivel a hibát könnyen okozhatja egy fiatal telepítés, ahol a lombkorona nem összefüggő,

Hiba	CLC osztály	n	Hibaarány	Osztályarány	Teljes arány
4 — 1	2111	521 962	21,48%		10,61%
	2112	214 127	8,81%	24,84%	4,35%
	Egyéb	5 817	0,24%	38,32%	0,12%
3 — 5	3115	198 987	8,19%	52,72%	4,04%
	3111	147 120	6,05%	22,19%	2,99%
	Egyéb	120 598	4,96%		2,45%
4 — 2	2111	218 821	9%		4,45%
	2112	118 944	4,9%	10,41%	2,42%
	Egyéb	7 593	0,31%	21,29%	0,15%
3 — 2	3115	81 918	3,37%	21,7%	1,66%
	3211	33 217	1,37%	61,87%	0,68%
	Egyéb	92 071	3,79%		1,87%
Egyéb		901 545	37,1%		18,32%
Összesen		2 429 839	100%		49,38%

3. táblázat. Hibák részletes bontásban.



4. ábra. Az 56-os, és 57-es utak hibás klaszterezése Mohács és Lánycsók között. A két sávos (kb. 6 m széles) utak spektrális torzításának hatására 900 m²-es területek kerültek beépített terület kategóriába. Forrás: Google Maps 2016.

valamint összefüggő aljnövényzet sem alakult ki. Besorolási hibára utal azonban a 3211-es alosztály, ami természetes gyept jelöl fák és cserjék nélkül. Itt valóban az újraosztályozás tévedett, azonban ennek javítása a végeredményben szignifikáns változást nem hozna.

Összességében megállapítható, hogy az újraosztályozás nem hibátlan, viszont helytálló. A hibák javítása minimális javulást hozna az automatikus klaszifikáció pontosságában, a hiba nagy része viszont megmaradna. Így az újraosztályozás, mint fő hibaforrás zárható.

3.2.2. Klaszterezésből származó hiba

Egy másik könnyen ellenőrizhető, illetve számszerűsíthető hibaforrás a klaszteranalízis, mely a spektrális lenyomatokat hozza létre. A klaszterezés helyességének ellenőrzéséhez szükség van az indexek átlagaira (4. táblázat), valamint kovariancia mátrixaira a referenciaállomány csoportjaira lebontva. Így a klaszteranalízis kivonhatóvá válik a klasszifikációból, és a két eredmény összehasonlítható lesz. Az eredmények közötti különbség mutatja meg a klaszterezés hibáját, de a két eredmény kappa mutatóinak összehasonlításából is lehet következtetni a klaszteranalízis pontosságára.

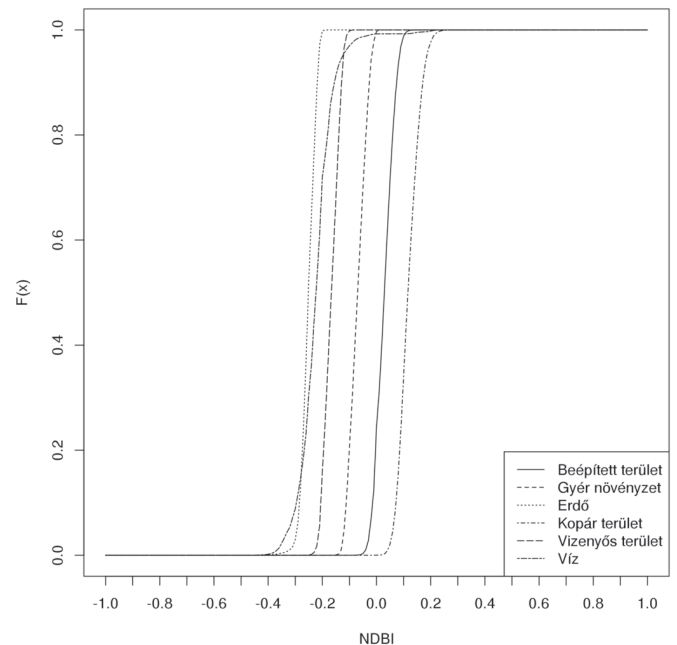
A kovariancia mátrixok kiszámolására a GRASS-on belül az r.covar modul szolgál. A manuálisan létrehozott spektrális lenyomattal készített klasszifikáció jobbnak bizonyult, mint az automatikus. Itt már a terület 67,56%-át sikerült helyesen besorolni, azonban a részletes kappa elemzés (5. táblázat) érdemi változást nem mutat.

A beépített területek és az erdők osztályozása pontosabb lett, azonban az eddig kiváló pontossággal lehatá-

Osztály	Com.	Om.	κ
Beépített terület	77,65%	47,45%	0,19
Gyér növényzet	69,3%	49,38%	0,22
Erdő	16,85%	27,38%	0,77
Kopár terület	6,19%	29,27%	0,86
Vizenyős terület	95,79%	80,41%	0,03
Víz	40,53%	36,33%	0,59
Összesen			0,53

5. táblázat. A klaszterezés nélküli klasszifikáció kappa elemzésének eredménye.

rolt kopár területek, és jó pontossággal rendelkező vizek veszítettek pontosságukból. A hiba oka csak részlegesen keresendő a klaszterezésben, mivel a K-közép algoritmus sajátosságai is okozhatták. Az algoritmus egymástól jól elválasztható, normál eloszlású csoportokat próbál kialakítani (5. ábra), így a kialakított csoportok szórása, varianciája hasonló, a többi jellemző statisztikai mutatója eltérő, periodikus változást mutat.



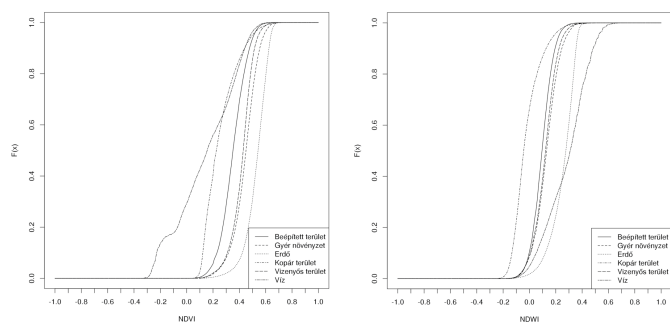
5. ábra. Csoportok eloszlása automatikus klasszifikáció esetén az NDBI indexen.

Az indexek a referencia csoportokra kiszámolt statisztikai mutatóiból (4. táblázat) jól látszik azonban, hogy az indexek nem ezeket a tulajdonságokat mutatják. Bár a szórásuk többnyire alacsony, az átlagaik, és a határérté-

Kat.	NDBI				NDBaI				NDVI				NDWI			
	m	σ	1%	99%	m	σ	1%	99%	m	σ	1%	99%	m	σ	1%	99%
1	-0,04	0,07	-0,21	0,12	-0,31	0,06	-0,48	-0,17	0,35	0,1	0,12	0,56	0,1	0,08	-0,09	0,28
2	-0,07	0,08	-0,26	0,12	-0,31	0,06	-0,47	-0,18	0,44	0,09	0,18	0,64	0,13	0,09	-0,09	0,34
3	-0,18	0,08	-0,3	0,07	-0,39	0,07	-0,55	-0,22	0,53	0,08	0,25	0,66	0,25	0,09	-0,04	0,39
4	0,06	0,09	-0,22	0,2	-0,27	0,07	-0,42	-0,2	0,25	0,12	0,09	0,6	-0,02	0,1	-0,19	0,29
5	-0,06	0,08	-0,24	0,12	-0,34	0,06	-0,56	-0,2	0,42	0,09	0,17	0,6	0,12	0,09	-0,09	0,33
6	-0,16	0,1	-0,35	0,11	-0,57	0,18	-0,8	-0,2	0,14	0,24	-0,29	0,55	0,28	0,16	-0,08	0,58

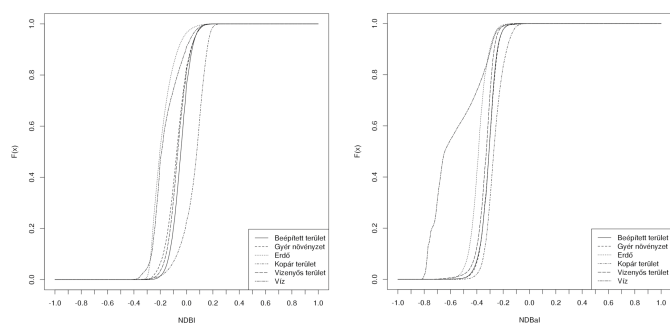
4. táblázat. Az indexek néhány releváns statisztikai mutatója a referenciaállomány csoportjaira kiszámolva.

keik nem különülnek el annyira, hogy a klaszteranalízis megtalálhassa a várt csoportokat. Így a klaszterezés sem hordoz meghatározó mennyiségű hibát.



6. ábra. NDVI és NDWI indexek eloszlásfüggvényei a referenciacsoporthoz tartozó területeken.

A hiba forrása így már elég nagy valószínűséggel az indexek alkalmatlansága, azonban érdemes lehet feltárni, pontosan miért alkalmatlanok ezek a normalizált indexek Magyarország területén. A mutatók eloszlása a referenciacsoporthoz tartozó területeken (6., 7. ábra) érdekes összefüggésekre világít rá.



7. ábra. NDBI és NDBaI indexek eloszlásfüggvényei a referenciacsoporthoz tartozó területeken.

Az NDVI emeli ki leginkább a célcsoportok spektrális eltéréseit. Az NDWI legfőbb alkalmazási területe a növényzet nedvességtartalmának a kimutatása. Az erdők és a gyér növényzet elkülönítésére maradéktalanul alkalmas, azonban az erdők és a vizek, valamint a gyér növényzet és a vizenyős területek nehezen választhatóak szét ezzel a mutatóval. Váratlan előnye azonban, hogy a kopár területekre is igen érzékeny.

Az NDBaI jól kiemeli a kopár területeket. Azonban Chen et al. (2006) megállapítása, miszerint a 0-nál nagyobb NDBaI értékek a kopár területekkel erősen korrelálnak, Magyarországon megdőlni látszik. Baranya megyében szinte az egész terület 0 alatti értéket vesz fel, és a kopár területek $-0,6$ -os érték alatt szeparálhatóak el. Ennek fő oka lehet a Kína délkeleti részét jellemző vörös- és sárgaföldek eltérő reflektanciája a kontinentális éghajlat jellemző talajaitól közepes, és termális infravörös tartományban.

Az NDBI mutató hozta a leggyengébb eredményt. A mutatónak a beépített területek és a természetes területek

eltérő reflektanciájára kellene érzékenynek lennie, ezzel szemben a kopár területekre érzékeny. Ennek okai egyelőre ismeretlenek, feltárásuk további kutatómunkát igényel. Az okok között szerepelhetnek a kínai és magyar területek közötti beépítettség mennyiségi, és minőségi különbségei, a besugárzás eltérő mértéke, valamint a vidéki városok hőszennyezetségének kisebb mértékéből adódó UHI (Urban Heat Island) jelenség részleges hiánya. Fontos megemlíteni, hogy a vizeket, és az erdőket jól elválasztja a többi csoporttól, ami a többi mutatóval együtt, négy dimenzióban javítja azok elszeparálhatóságát.

4. Összegzés

A Chen et al. (2006) által alkalmazott indexek vegyesen alkalmazhatóak Magyarországon automatikus klasszifikációra. A K-közép és MLC algoritmusok jó pontossággal határolják le a kopár területeket és a vizeket, valamint közepes pontossággal az erdőket. A többi vizsgálati csoportra azonban nem eléggé érzékenyek. A beépített területek, a gyér növényzet, valamint a vizenyős területek mind a négy indexen összemósódnak, spektrális tulajdonságaik túlságosan hasonlóak. Az NDVI képes leginkább elválasztani a célcsoportokat, viszont pontos lehatárolásra egy mutató, az algoritmusok szemszögéből egy dimenzió nem elegendő. Az NDWI, és az NDBaI nem a várt módon, de hasznosnak bizonyulnak a kopár területek, a vizek, és az erdők elválasztásában. Az NDBI hozta a legrosszabb eredményt, ennek a mutatónak volt a legkevesebb haszna az elemzés során.

Bár a vizsgált indexek automatikus klasszifikációra részlegesen alkalmasak, azaz néhány felszínborítási elemet nagy pontossággal képesek lehatárolni, önállóan nem alkalmazhatóak. Egy teljesen automatizálható és pontos módszer kidolgozásához az itt megírt módszer implementálható, azonban más jellegű, lokalizált, Magyarország viszonyait jól visszaadó mutatókra is szükség van.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Szabó Szilárdnak, amiért meglátásaival nem csak tartalmilag, de formailag is sokat sikerült javítani a dolgozaton, valamint Dr. Mucsi Lászlónak, amiért véleményével további perspektívákat adott a kutatásnak. Mindkettejük munkáját nagyra értékelem.

Irodalomjegyzék

- Ahmad, A. és Quegan, S. (2012). Analysis of maximum likelihood classification on multispectral data. *Applied Mathematical Sciences*, 6(129), 6425–6436.
- Büttner, G., Maucha, G., Bíró, M., és Petrik, O. (2009). Nagyfelbontású nemzeti felszínborítási adatbázis. Földmérési és Távérzékelési Intézet, Környezetvédelmi Távérzékelési Osztály, Budapest. 9 p.
- Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X., és Yin, Z.-Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104, 133–146.
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46.
- Congalton, R. G. (1991). A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35–46.
- Ding, C. és He, X. (2004). K-means clustering via principal component analysis. *Proceedings of the Twenty-first International Conference on Machine Learning, ICML '04*, New York, NY, USA. 29–.
- Eredics, A. (2007). Vegetációs Indexméter (NDVI) Tervezése és Fejlesztése. Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet Földmérési és Távérzékelési Tanszék, Sopron. 3–5.
- Feranec, J., Hazeu, G., Christensen, S., és Jaffrain, G. (2007). Corine land cover change detection in Europe (case studies of the Netherlands and Slovakia). *Land Use Policy*, 24, 234–247.
- FÖMI (2009). Az 1:50.000 léptékű országos CORINE Felszínborítási (Land Cover) Projekt nomenklatúrája. Földmérési és Távérzékelési Intézet, Környezetvédelmi Távérzékelési Osztály, Budapest. 20 p.
- Gao, B.-C. (1996). NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257–266.
- Garrison, T. G., Houston, S. D., Golden, C., Inomata, T., Nelson, Z., és Munson, J. (2008). Evaluating the use of IKONOS satellite imagery in lowland Maya settlement archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 35, 2770–2777.
- GRASS Development Team (2016). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software, Version 7.0. Open Source Geospatial Foundation.
- Landis, J. R., és Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Lein, J. K. (2003). OhioView: A Case Study in Progress. *Journal of Space Communications*, 1(3), 29 p.
- Mika, J., Utasi, Z., Bíró, C., és Kónya, E. P. (2011). Műholdakról távérzékelte adatok feldolgozása és használata. EKF Matematikai és Informatikai Intézet, Eger. 19–20.
- NASA (2011). Landsat 7 Science Data Users Handbook. Landsat Project Science Office at NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt. 186 p.
- USGS (2015). Landsat missions: Imaging the earth since 1972. http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php. Letöltve: 2016. Január 8.
- Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., és Woodcock, C. E. (2012). Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122, 2–10.
- Zhao, H. és Chen, X. (2005). Use of normalized difference bareness index in quickly mapping bare areas from TM/ETM+. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International*, 3, 1666–1668.

Geomorfológiai tanulmányút Morvaországban – barlangoktól a bányákig

(Masaryk Egyetem, Brno, Csehország, 2015. május 18–26.)

Józsa Edina^{1*} – Tóth Gabriella¹

¹ Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományok Doktori Iskola

*E-mail: edina.j0zs4@gmail.com

DOI: 10.17799/2015.1.21

A Pécsi Tudományegyetem geomorfológia iránt érdeklődő hallgatói immár második alkalommal vehettek részt Campus Hungary ösztöndíj keretében szervezett komplex terepgyakorlaton, melynek helyszíne ezúttal a természeti és kultúrtörténeti értékekben bővelkedő Morvaország, a Cseh-Morva-medence és -dombvidék volt. E terület sajátossága, hogy keverednek a domborzat alap morfológiai elemei, megtalálhatóak itt alföldek és medencék, domságok és hegyvidékek. Ezt a morfológiai képet változtatta meg az ember és alakította ki a morva tájat, melyet több világörökségi helyszínnel is elismernek. Ennek a Kárpát-medencén kívüli vidéknek a megismerése hasznos volt a hallgatók számára, hiszen a hazai tájakat is kialakító legfőbb geomorfológiai folyamatok áttekinthetőek, párhuzamok és különbségek kereshetőek a magyar tájakkal, felszínformákkal.

A csoportot fogadó intézmény a brnoi Masaryk Egyetem Földrajzi Tanszéke volt (1. ábra). A tanszék vezetője, Dr. Petr Dobrovolný felvilágosítást adott a képzési rendszerről, a hallgatók tanulmányi és kutatási lehetőségeiről, a geográfus diploma értékéről a cseh munkaerőpiacon, illetve a szak hallgatólétszám-csökkenésből eredő nehézségeiről. Emellett a hallgatók megismerkedhettek az ott zajló kutatásokkal, az alkalmazott módszerekkel és az elérhető eszközparkkal is. A tanszék kiemelkedő kutatási témái közé tartozik a természeti veszélyek és katasztrófák vizsgálata, a történeti klímaingadozás rekonstrukciója, karsztos és folyóvízi felszínformák geomorfológiai térképezése, illetve egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a dendro-geomorfológiai vizsgálatok is.

A tanulmányút során minden lehetőséget kihasználtunk, hogy a különböző természetes és antropogén tájakat megismerhesük. A Pannon-medencéből kifelé vezető úton érintettük a Dévényi-várat, ahonnan belátható volt a Morva dunai torkolata, a Kárpátok kezdő tagja (Hainburgi-rög) mellett fő folyónk áttörése. Már cseh vidéken megtekinthettük a Lednice-Valtice kultúrtáját és mesterségesen kialakított tórendszerét, amelyet „Európa kertje”-ként az UNESCO Világörökségek között tartanak számon. A Divčí erődítmény romjaihoz felkapaszkodva egyik irányban a Pálava mészkőhegység sztyepp vegetációval borított védett tájképi területét (2. ábra), míg a másik irányban Pavlov település



1. ábra: Látogatás a Földrajzi Tanszék térképtárában. (Fotó: Varga G.)



2. ábra: Morva tájkép (Fotó: Józsa E.)

közeliében a 11. század óta tartó szőlőművelés domborzatra gyakorolt hatásait figyelhettük meg.

Az út során igyekeztünk a terepi munkára helyezni a hangsúlyt, ám emellett a jelentősebb morva városok kultúrtörténeti értékeinek megismerésére is szakítottunk időt. Ez utóbbi részét képezte a brnói városnézés, ahol megtekintettük a magyar vonatkozásokkal is bíró Špilberk várat (Kazinczy Ferenc raboskodott itt), a Zöldségpiacot, a Szent Péter és Pál katedrális, a mumifikálódott szerzeteseket őrző Kapucinusok templomát és természetesen érintettük az Óvárosháza térségét, ahol a brnói sárkány és a kerék legendájával ismerkedtünk meg. Kisebb városnézésre adódott lehetőségünk Pécs testvérvárosában, Olomouc-ban avagy Olmützben, ahol a város Morva-parti legalacsonyabb részeitől eljutottunk a neogótikus Szent Vencel templomig, amely hihetetlen méreteivel (tornya közel 100 méter magas) nyugózi le az érdeklődőket. A megtekintett történelmi értékek között említhetjük Pernštejn kastélyát is (3. ábra). A 13. században a kastély eredeti magja egy kristályos kőzetekből álló kiszögellésen épült fel, amely éles kanyarra készíti a vár alatt húzódó vízfolyást is. A kastély érdekessége, hogy az évszázadok alatt nem tudták elfoglalni, amit többek között a rendkívül jó elhelyezkedésének köszönhet.

A terepbejárások során részt vettünk Dr. Zdeněk Máčka vezetésével a földrajz BSc szakos hallgatók terepgyakorlatán, Brnotól ÉNy-ra a Bílý-patak völgyében (4. ábra). A terepi munka magában foglalta a vízfolyás hidrológiai és morfológiai jellemzőinek mérését.

A tanulmányutunk egyik fénypontja volt a Morva-karszton tett gyalogos túra. Ez a térség Közép-Európa legnagyobb karsztos területe, melynek alapját adó devon kori tengerüledékből álló mészkőterület 100 km²-re terjed ki és több mint 1100 barlang, szakadék és egyéb karsztos forma teszi a karsztokon végbemenő folyamatok egyik legjobb bemutatóhelyévé. A gazdag formakincs jelzi a karszt korát is (kb. 320 millió év), ugyanis a még aktív, fejlődő szakaszok a már inaktív,

összetöredezett alakzatokkal együtt láthatóak. A túra során a Punkva-barlang bejárására volt lehetőségünk. Száraz szakaszán hatalmas méretű sztalagmitok és sztalagtitok díszítik a termeket, néhol tejfehéren, ami a szennyezés-mentes képződés jele. A vizes szakasz kezdete előtt az egykori barlang plafonja beszakadt és egy 140 m mély szakadékot hozott létre, ez a Macocha-szakadék. A beszakadásnak köszönhetően vált a felszínről is láthatóvá a Punkva-patak, amelynek a neve is bűvópatakot jelent.

Saját meglátásunk szerint a barlangnak nagy terhelést jelent a hatalmas turista tömeg, amely a jövőben valószínűleg problémákat okozhat még (a világítás és annak melege algák számára tökéletes életkörülményeket biztosít, a túlzott kiépítés pedig már feltehetően most is visszafordíthatatlan következményekkel járt).

Az Északnyugati-Kárpátok flis övezetéhez sorolható területen, Halenkovice település mellett bejártuk egy nagy kiterjedésű és rendszeresen felújuló csuszamlás környékét is. A csuszamlás fő kiváltó oka a kutatások szerint az extrém csapadékmennyiség lehetett 1997-ben, többszöri felújulására a megfelelő földtani és domborzati viszonyok miatt számítottak a kutatók. A területen



3. ábra: A Pernštejn kastély. (Fotó: Varga G.)

megtaláltuk a stabilizációs munkálatok, a vízvezetés nyomait, illetve a korábbi mozgásokra és szuffóziós folyamatokra következtethetünk a fák törzsének íveltségéből, a talaj látható repedéshálózatából.

Tömegmozgásos folyamatok nyomait kerestük a Zlín környéki terepbejárásunk során is. A település erősen csuszamlás-veszélyes, mivel flis területekre épült, ráadásul a viszonylag meredek lejtők,

amelyeket a lakosság sűrűn beépített szintén megte-remtik például csuszamlások kialakulásának feltételeit.

Természeti és társadalmi szempontból is érdekes volt a Rožnov pod Radhoštěm település melletti „Oláh Skanzen” megtekintése. A múzeum tulajdonképpen egy falu, amely a Morva-Sziléziai-Beszkidékben, Wallachia régió–történeti, kulturális, építészeti viszonyainak megőrzésére hivatott.

A tanulmányutat Ostrava környékének megismerésével zártuk. A Cseh Köztársaság egykori „acél szíve” a bányászat, a vas- és acélpár fejlődésének és jelenlegi állapotának bemutatására számos lehetőséget kínál. A település a vidék leginkább szennyezett levegőjű városa, ami nagyban köszönhető a még mindig üzemelő acélpári és bányászati vállalatoknak. Ostravában található Csehország legnagyobb bányászati múzeuma, a Landek Park, az egykori Anselm bánya (5. ábra). Az Odra és Ostravice vízfolyások összefolyásánál álló Landek-domb térsége geológiai, történelmi és természeti értelemben is kiemelkedő értéket képvisel, így részét képezi az UNESCO Világörökségeknek. A földalatti bányászati kiállítás be-



4. ábra: A PTE TTK FI és FDI „ifjú” geomorfológusai a Bílý-pataknál. (Fotó: Varga G.)

mutatja a korai, kézi szén-bányászati módszereket, valamint a vágatszerű bemutatótermekben a gépesített frontfejtés eszközeit egyaránt. Az igazi Ostrava megismerésének elengedhetetlen eleme volt Dolní Vítkovice városrész körbejárása, amely napjainkra egyre inkább kulturális célokat betöltő, hatalmas gyárépületekkel tűzdelt posztindusztriális térség. Itt a 19. század elejétől egészen a 20. század végéig zajlott szénbányászat és nyersvasgyártás. Napjainkban a leromlott állapotú gyárépületek, gyárkémények, rozsdásodó csővezetékek jellemzik az épületegyüttest, amelyek mellett viszont modern galériák, tudományos bemutatóterek és fesztiválhelyszínek bukkannak fel egyre növekvő számban.

Összességében úgy véljük, hogy a tanulmányút hasznos volt a hallgatók számára, hiszen amellet, hogy bejártuk Morvaország legfontosabb városait és UNESCO Világörökségi helyszíneit, lehetőségünk adódott angol nyelvtudásunk fejlesztésére és terepi tapasztalatokkal is gazdagodtunk. Reményeink szerint a későbbiekben akár a két egyetem közötti nemzetközi összeköttetések révén, akár tudományos projekteknél való összefogások mentén tovább ápolhatjuk a Pécsi Tudományegyetem és a Masaryk Egyetem geográfusai közötti jó kapcsolatot.



5. ábra: Egy korszak véget ért – 1991-ben beszüntették a szén kitermelését az Anselm bányában. (Fotó: Józsa E.)

