

## **Domborzatmodell alkalmazhatósága a geomorfológiai elemzésben a Nyugat-Mecsek példáján**

SEBE KRISZTINA<sup>1</sup>

### **Abstract**

#### **Applicability of digital elevation models in geomorphological analysis: the case of Western Mecsek Mountains, Hungary**

Digital elevation models (DEMs) provide a new means for geomorphological studies and are also spreading in Hungary. This article examines the example of Western Mecsek Mountains and Eastern Zselic Hills (SW Hungary) in order to find out to what extent and under what circumstances is the DEM able to support morphological analysis. Primary scope of investigation was neotectonical phenomena and young landscape evolution.

Analysis of DEM was carried out with the software ArcGIS (ArcView, 3D Analyst, Spatial Analyst). Through calculations on the model, 3D view of the area was created, maps of aspect, slope and curvature were drawn, drainage characteristics were studied and statistical investigations were performed. Relief data were conferred with existing geological knowledge and actual field conditions.

The study area of varied buildup, relatively well investigated geologically and tectonically, proved to be an adequate experimental field. Through the DEM, it was possible to identify geomorphic features linked to structural movements (fault lines, benches uplifted along these, flatirons, former valleys of the basin area etc.). Valleys of different form could be distinguished easily, automatic delineation of alluvial fans raised difficulties though. Between rock formations and morphology only partial connection was found, which was influenced by several factors (primarily rock quality, lithostratigraphical and structural position). The work also yielded data about the young evolution history of the Pécs Basin.

Results lead us to the statement that the DEM helps identify tectonic elements and areas affected by young structural movements, analyse the relationship between geology and geomorphology, and it supports investigations into landscape evolution as well.

### **Bevezetés**

A pécsi székhelyű MECSEKÉRC Rt. irányítja a nagy aktivitású radioaktív hulladékok egyik potenciális befogadó kőzetének, a Bodai Aleurolit Formációnak (BAF), és környezetének ku-

---

<sup>1</sup> MECSEKÉRC Rt., 7633 Pécs, Esztergár L. u. 19., e-mail: sebekrisztina@mecsekerc.hu

tatását. A formáció megismerését célzó munka több évtizedre nyúlik vissza: először 1982-ben merült föl, hogy a képződmény (kis és közepes aktivitású) radioaktív hulladékok tárolására alkalmas lehet (HÁMOS G. 1997). 1995 és 1998 között egy elsősorban földtani, ún. Rövidtávú Kutatási Program (RTP) zajlott le, amelynek feladata a BAF felszíni és felszín alatti vizsgálata volt. A Paksi Atomerőmű bezárási határidejének közeledtével néhány év múlva ismét előtérbe került a kérdés. 2003 őszén a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht. mint a Nukleáris Pénzügyi Alap állami kezelő szerve, elfogadta a MECSEKÉRC Rt. öt évre (2003–2008) szóló, a BAF kutatását célzó Középtávú Kutatási Programra (KTP) készített pályázatát.

A KTP az előzőnél jóval szélesebb körű program, amely a földtan mellett számos más témakört tartalmaz, a társadalmi vonatkozásoktól a környezeti állapotfelmérésig. A domborzatelemzés ebbe a programba illeszkedik, elsősorban a vízföldtan, ill. a geomorfológia és a neotektonika (hosszú távú stabilitás) kapcsán foglalkozunk a témával. Mivel a munkának még csak a kezdeti szakaszánál tartunk, egyelőre arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a domborzatmodell alkalmas-e, és ha igen, milyen feltételekkel, az említett témakörök vizsgálatára.

## A kutatás előzményei és módszere

Vizsgálati területünk, a Nyugat-Mecsek geomorfológiáját átfogóan először SZABÓ P.Z. (1931, 1955, 1957), majd LOVÁSZ GY. (1970, 1974, 1998) tanulmányozta. Mind SZABÓ P.Z., mind később KOCH L. (1988) munkájában kiemelt szerepet kap a szerkezeti mozgások nyomainak vizsgálata. Újabban CSILLAG G. (in: KONRÁD GY. 1998) foglalkozott még a témával. A digitális domborzatmodellt KONRÁD GY. (1998, 2001a,b) és SEBE K. et al. (2004) alkalmazta először, elsősorban a földtani összefüggések vizsgálatára. Az előtérmedencék fejlődéstörténetével más módszerek felhasználásával KONRÁD GY. (2004) foglalkozott.

A munka kiindulási alapját a Magyar Honvédség Térképészeti Kht.-tól megvásárolt 50 m-es vízszintes felbontású domborzatmodell (DDM-50), ill. az ehhez tartozó Digitális Térképészeti Adatbázis (DTA-50) topográfiai fedvényei képezték. A földtani kapcsolatok vizsgálatához többféle térképet (CHIKÁN G. et al. 1984; MÁFI 2004; MAJOROS GY. 2003 stb.) dolgoztunk fel. Az értelmezéshez irodalmi forrásokból, ill. saját megfigyelésekből származó földtani adatokat is felhasználtunk.

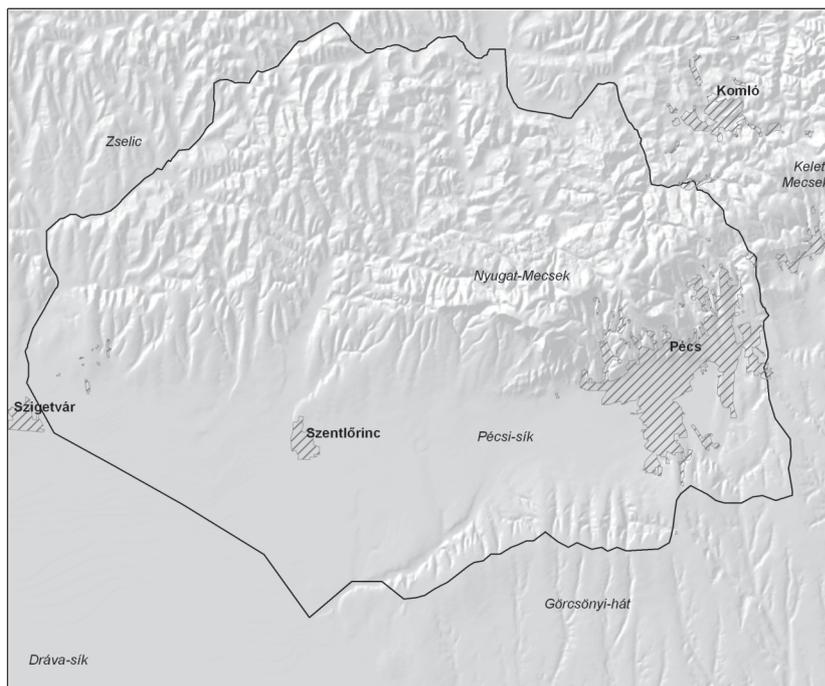
A munkát alapvetően ArcGIS szoftverkörnyezetben (8 és 9 verziók) végeztük, az ArcView mellett annak 3D Analyst és Spatial Analyst elnevezésű kiterjesztéseit is használtuk. A statisztikai elemzések elvégzéséhez és az eredmények megjelenítéséhez Grapher 5 és MS Excel programokat alkalmaztunk.

A domborzatmodellen végzett számításokkal előállítottuk a terület háromdimenziós képét, kitettségi, lejtés- és felszín görbület-térképét, vizsgáltuk a lefolyásviszonyokat. A kizárólag a modell elemzéséből származó adatokat közös térinformatikai rendszerbe illesztettük a földtani és topográfiai térképekkel, és elvégeztük ezek együttes vizsgálatát. A megjelenítéshez kihasználtuk a 3D-t kezelő szoftverek adta lehetőségeket (árnyékolt domborzat, 3D megjelenítés, kép ráfeszítése 3D felületre, szelvények, magassági torzítás stb.). Az eredményeket vizuálisan és statisztikai módszerekkel értékeltük.

## A kutatási terület jellemzői

A vízföldtani modellezés, a környezeti állapotfelmérés és részben a szerkezet-földtani kutatások az *1. ábrán* bemutatott területen zajlanak. Ennek kiterjedése 1470 km<sup>2</sup> (35x42 km), a Nyugat-Mecseket, a Zselic K-i részét és ezek D-i előtereit foglalja magában. A konkrét vízföldtani modellezés színtere ezen belül egy közel 800 km<sup>2</sup>-es, szabálytalan alakú terület, amelynek határait lehetőség szerint vízválasztókon és völgytalpakon húzták meg. Domborzatelemzéseink nagy részét az előbbi, nagyobb területen végeztük a széleken előforduló számítási hibák kiküszöbölése végett.

A vizsgált tájegységek földtanilag a Kárpát-medence DK-i részének aljzatát alkotó Tiszai nagyszerkezeti egységhez tartoznak. A harmadidőszak előtti aljzatot a Mecseki egységben főleg paleozóos gránitok és paleo-mezozóos törmelékes és karbonátos üledékek alkotják, míg a Mecsek és a Villányi-hegység között húzódó, ún. Máriakéme-divonulatban a kristályos aljzat főleg csillámpalából és gneiszből áll, amit részben mezozóos üledékek fednek. Az alaphegység jelentékeny kiterjedésben csak a Mecsekben bukkan a felszínre, annak közvetlen környezetében miocén, a fennmaradó részeken pannon és főleg pleisztocén üledék (nagy részt lösz) fedi.



*1. ábra.* A vizsgált terület elhelyezkedése

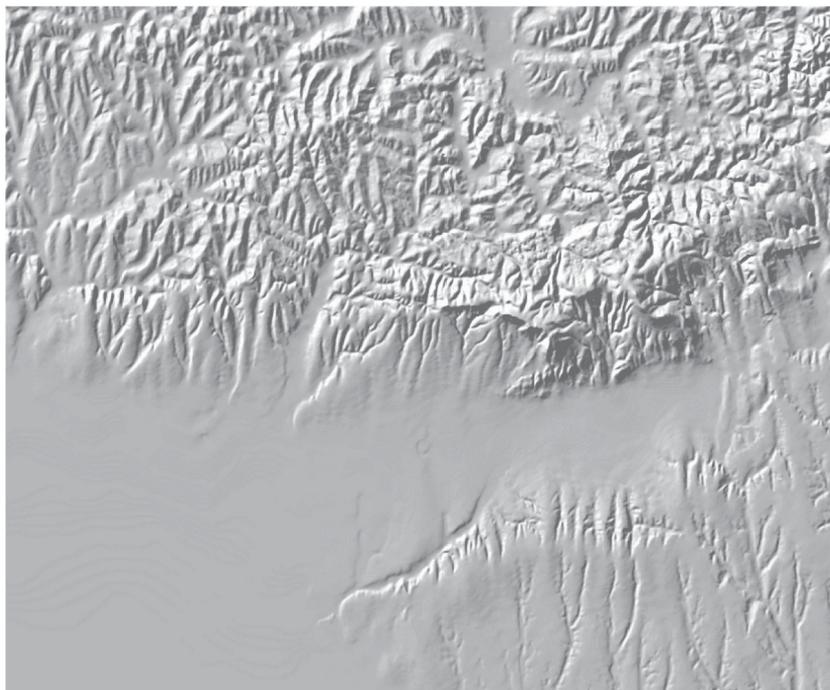
Location of study area

## Vizsgálati eredmények

### *Domborzat*

Az árnyékolt, túlmagasítás nélküli domborzatmodellen (2. ábra) láthatjuk, hogy a legkiemelkedőbb morfológiai egység a Nyugat-Mecsek, amelynek antiklinális-szerkezete szépen jelentkezik a felszínformákban is. A KÉK felé dőlő tengelyű boltozatot két kiemelkedő vonulat, a köztük húzódó mély völgyek, valamint a DNy-i részen egy nagy kiterjedésű, enyhe lejtésű, közel sík hegyláb felszín alkotják. Mind a gerinc, mind a völgyek sávja bizonyos helyeken megszakad. Az É-i részen jól látszanak a karsztvidék töbrei. A K-i részt alkotó Pécsbányai-szinklinális is éles formákkal jelentkezik, és feltűnőek ezen a vidéken az antropogén formák (külfejtések). Az antiklinális D felé éles határral végződik, D-i peremén ezzel a határvonallal hegyesszög bezáró, párhuzamos lineamentek figyelhetők meg. A Kelet-Mecseknek csak a Ny-i, alacsonyabb szegélye érinti a vizsgálati területet.

A Nyugat-Mecseket Ny-on széles, egyenes völgy (Bükkösi-völgy) választja el a földrajzi értelemben vett Zselictől, amelynek K-i részét földtanilag még a Nyugat-



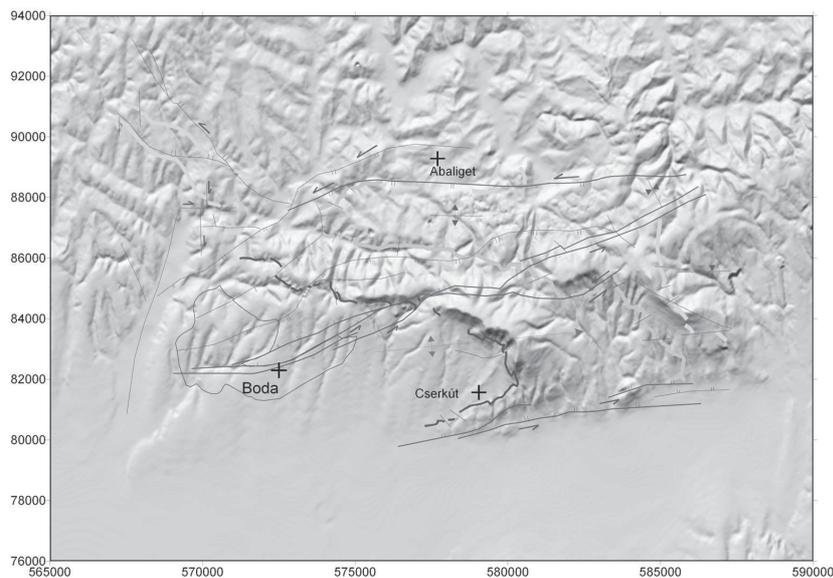
2. ábra. A vizsgált terület árnyékolt domborzati képe

Shaded relief model of study area

Mecsekhez szokás sorolni. A viszonylag szabályos ágas vízhálózat a Nyugat-Mecsekénél jóval egységesebb földtani felépítést sejtet. D-i peremén a Nyugat-Mecsekhez hasonlóan párhuzamos, É–D-i csapású völgyekkel szabdalts hegylábfelszín látható, bár a mecsekinél kevésbé látványos formában. A Mecsek D-i előterében az éles határokkal megjelenő Pécsi-sík húzódik, amely DNy felé kinyílván olvad bele a Dráva-síkba.

A vizsgált terület DK-i részét alkotó Görcsönyi-hát É-i lejtője rövid, meredek, mélyen bevágódó völgyek tagolják, míg D felé lassan, hosszan ereszkedik le. Ezen a felszínen É–D, a K-ebbi részeken ÉÉNy–DDK lefutású párhuzamos völgyek sorozata látható. A Nyugat-Mecsek D-i lejtőjét tagoló völgyek esetében megfigyelhető, hogy míg azok felső szakasza a folyóvizek által kialakított elágazó, helyenként jellegzetesen dendrites vízhálózattípust mutatja, addig az alsó részük az említett É–D-i egyenes völgyesorozathoz illeszkedik.

A domborzati képen néhány fontosabb földtani elemet jelölve láthatóvá válik a földtani felépítés és a morfológia kapcsolata (3. ábra). A nyugat-mecseki boltozat leghatározottabb ívét az alsótriász Jakobhegyi Homokkő alsó szakasza, a legfeljebb 30 m vastag, kovás kötőanyagú, igen kemény, ún. főkonglomerátum felszíni kibúvása jelöli ki. A másik ív a középsőtriász mészkövek (Misinai Formációcsoport) öve. A mély völgyek az igen mállekony középsőtriász evaporitösszlet (Hetvehelyi Formáció) mentén alakultak ki. A völgyek íve közepén megszakad: a hegység pereméről in-



3. ábra. A fő szerkezeti elemek és vezetősíntek a Nyugat-Mecsek domborzatmodelljén (szerk. KONRÁD Gy. 2001)

Main structural elements and geological horizons on the DEM of Western Mecsek Mountains. (ed. by KONRÁD, GY. 2001)

duló hátravágódó erózió még nem érte el az antiklinális legfelső részét, ez is a viszonylag fiatal morfológiára utalhat. A gerincet a Nyugat-Mecsek legfontosabb szerkezeti öve, a Boda-büdöskúti-zóna töri meg, amelynek mentén a kőzetek mind függőleges, mind vízszintes elmozdulást szenvedtek. A Bükkösi-völgy szintén tektonikai sík mentén kialakult árok. A hegység É-i határát jelentő Hetvehely–Magyarszék-eltolódás a morfológiában csak igen gyengén jelentkezik. Az antiklinálist D-ről nagy regionális diszlokációs zóna, a Mecsekalja-öv határolja, a vele hegycsúcsot bezáró lineamentek annak segédtörései mentén alakulhattak ki.

Ezt a domborzatban is szépen megjelenő törésrendszert korábbi vizsgálatok már értelmezték, mégpedig nyírást feszültségtérhez kapcsolódó Riedel-rendszerként (KONRÁD GY. 2001). A Pécsi-medence a Mecsekalja oldaleltolódásos övhöz kapcsolódó, ún. széthúzásos (*pull-apart*) medence (BALLA Z. 1980; TARI, G. et al. 1992).

A tágabb környezet domborzatmodelljén (4. ábra) láthatjuk, hogy a Mecsekalja-öv valóban regionális léptékű, a morfológiában is jól követhető ÉK felé. A hozzá kapcsolódó nyírást medencék sorozata ugyancsak folytatódik ebben az irányban, ezek azonban még korábbi, fejletlenebb stádiumot képviselnek.

A szélcsatornák közel párhuzamos rendszere az egész Dél-Dunántúlra jellemző, amelyben törést a hegységi területek jelentenek, elsősorban a Mecsek. Ha elfogadjuk, hogy a völgyrendszer kialakulása a pleisztocénben történt, akkor a hegyláb felszín már említett, kettős morfológiájú völgyeinek meglétére adható egy lehetséges magyarázat. Ekkor ugyanis a Mecsek már kiemelt helyzetben volt, viszont a Pécsi-medence a felszínmorfológiában még nem jelentkezett (l. később). Ilyen helyzetben könnyen elképzelhető, hogy az uralkodó É-i–ÉNy-i szelek a viszonylag sík vidékek laza alapközetén ki tudták alakítani a völgyeket, míg ez a kiemelt, jóval élénkebb domborzatú, ellenállóbb összletekből felépülő alaphegységi területeken nem történt meg. A D-i lejtő felső részének a meredeken fölé emelkedő gerinc bizonyos szélvédettséget biztosított, itt a lineáris erózió alakította a völgyeket; a defláció csak a szélárnyékos résztől D-re, az akkor még összefüggő hegyláb felszínén juthatott meghatározó szerephez. Ez természetesen csak feltevés; más vélemény (CSILLAG G. in: KONRÁD GY. 1998) szerint az említett völgyek felső szakasza korábbi (felsőpannon-pliocén) hegyláb felszínhez kapcsolódva alakult ki.

#### *Magassági eloszlás*

Egy terület magassági eloszlása fontos adatokkal szolgálhat a felszínfejlődés vonatkozásában, ezért elkészítettük a teljes terület hisztogramját. Ezen minden kerek 10 m-es szintvonalnál kiugró értéket látunk. A domborzatmodellt a Magyar Honvédség Térképészeti Kht. a topográfiai térképek szintvonalainak digitalizálásával, majd a bevitt vonalak értékének interpolálásával állította elő. Bár az alkalmazott interpolálási mód (*spline*) megfelelőnek tűnik, a hisztogramon látható kiugrások egyértelműen az interpolációból származó hibák. Ugyanez okozza a domborzatmodell kisebb lejtésű részein látható „tereplépcsőket” is.

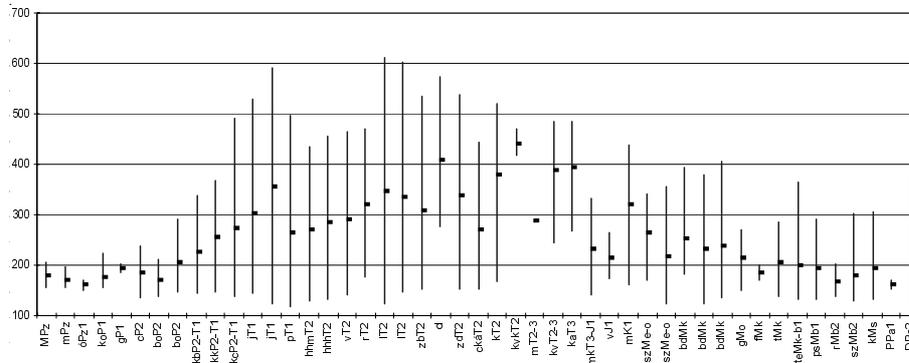


4. ábra. A tágabb környék árnyékolt és magasság szerint színezett domborzatmodellje (Forrás: KARÁTSZON D. 2002)

Regional shaded and elevation-coloured relief model (Source: KARÁTSZON, D. 2002)

Mivel a geomorfológiában fontos az egységes, megközelítőleg egy magasságban fekvő felszínek azonosítása, ez a hiba a további elemzéseket jelentősen megnehezíti. A domborzatmodell magasságot tekintve m-es felbontású. A keresett felszínek természetesen nem e felbontás alatti szintkülönbséggel rendelkeznek, hanem néhány m-es – esetenként néhány 10 m-es – magassági tartományt fognak át, ám ezek miatt a kiugrások miatt nem kapunk valós képet a terület magassági eloszlásáról.

Próbáltunk számszerű összefüggéseket keresni a domborzati adatok és a földtani tényezők között. A nyugat-mecseki antiklinális területére kiszámoltuk, hogy az egyes képződmények milyen átlagos tszf-i magasságban fordulnak elő (5. ábra). Feltételezé-



5. ábra. Az egyes képződmények tszf.-i magassága (átlag, ill. szélsőértékek m-ben) a Nyugat-Mecsekben. – MPz = Mórági Komplexum, réteges migmatit; mPz = Mórági Gránit F.; óPz1 = Ófalui Fillit F.; koP1 = Korpádi Homokkő F.; gP1 = Gyűrűfüi Riolit F.; cP2 = Cserdi F.; boP2 = Bodai Aleurolit F., átmeneti homokkő rétegek; boP2 = Bodai Aleurolit F., aleurolit; kbP2-T1 = Kővágószőlősi Homokkő F., Bakonyai Homokkő T.; kkP2-T1 = Kővágószőlősi Homokkő F., Kővágótöttösi Homokkő T.; kcP2-T1 = Kővágószőlősi Homokkő F., Cserkúti Homokkő T.; jT1 = Jakabhegyi Homokkő F., főkonglomerátum; jT1 = Jakabhegyi Homokkő F., homokkő; pT1 = Patacsi Aleurolit F.; hhmT2 = Hetvehelyi F., Magyarürögi Evaporit T.; hhhT2 = Hetvehelyi F., Hetvehelyi Dolomit T.; vT2 = Viganvári Mészke F.; rT2 = Rókahegyi Dolomit F.; IT2 = Lapsi Mészke F.; IT2 = Lapsi Mészke F., Tubesi T.; zBT2 = Zuhányai Mészke F., Bertalanhegyi T.; d = cukorszövetű másodlagos dolomit a Misinai Formációcsoportban (MT2); zdT2 = Zuhányai Mészke F., Dömörkapui T.; ckáT2 = Csukmai Dolomit F., Káni Dolomit T.; kT2 = Kozári Mészke F.; kvkT2 = Kantavári F., Kisréti T.; mT2-3 = Mánfai Sziderit F.; kvT2-3 = Kantavári F.; kaT3 = Karolinavölgyi Homokkő F.; mkT3-J1 = Mecseki Kőszén F.; vJ1 = Vasasi Márga F.; mK1 = Mecsekjános Bazalt F.; szMe-o = Szászvári F., Mázai T.; szMe-o = Szászvári F., Mecseknádasdi T.; gMo = Gyulakeszi Riolituffa F.; bdMk = Budafai F., Pécsváradi T.; bdMk = Budafai F., Komló T.; bdMk = Budafai F., Mánfai T.; fMk = Fóti F.; tMk = Tari Dácituffa F.; teMk-b1 = Tekerési Slír F.; psMb1 = Pécsszabolcsi Mészke F.; rMb2 = Rákosi Mészke F.; szMb2 = Szilágyi Agyagmárga F.; kMs = Kozárdi F.; PPA1 = Peremartoni Formációcsoport; DPA2 = Dunántúli Formációcsoport

Elevation (mean and extremes, in meters) of geological formations a.s.l. in Western Mecsek Mts. – MPz = Mórág Complex, layered migmatite; mPz = Mórág Granite Fm.; óPz1 = Ófalú Fillit Fm.; koP1 = Korpád Sandstone Fm.; gP1 = Gyűrűfü Rhyolite Fm.; cP2 = Cserdi Fm.; boP2 = Boda Claystone Fm., transitional sandstones; boP2 = Boda Claystone Fm., siltstone; kbP2-T1 = Kővágószőlős Sandstone Fm., siltstone; kbP2-T1 = Kővágószőlős Sandstone Fm., Bakonya Sandstone Member; kkP2-T1 = Kővágószőlős Sandstone Fm., Kővágótöttös Sandstone Member; kcP2-T1 = Kővágószőlős Sandstone Fm., Cserkút Sandstone Member; jT1 = Jakabhegy Sandstone Fm., conglomerate; jT1 = Jakabhegy Sandstone Fm., sandstone; pT1 = Patacs Siltstone Fm.; hhmT2 = Hetvehely Fm., Magyarürög Evaporite Member; hhhT2 = Hetvehely Fm., Hetvehely Dolomite Member; vT2 = Viganvár Limestone Fm.; rT2 = Rókahegy Dolomite Fm.; IT2 = Lapis Limestone Fm.; IT2 = Lapis Limestone Fm., Tubes Member; zBT2 = Zuhánya Limestone Fm., Bertalanhegy Member; d = secondary dolomite in Misina Fm. Group (MT2); zdT2 = Zuhánya Limestone Fm., Dömörkapu Member; ckáT2 = Csukma Dolomite Fm., Kán Dolomite Member; kT2 = Kozár Limestone Fm.; kvkT2 = Kantavár Fm., Kisrét Member; mT2-3 = Mánfa Siderite Fm.; kvT2-3 = Kantavár F.; kaT3 = Karolinavölgy Sandstone Fm.; mkT3-J1 = Mecsek Coal Fm.; vJ1 = Vasas Marl Fm.; mK1 = Mecsekjános Basalt Fm.; szMe-o = Szászvár Fm., Mázsa Member; szMe-o = Szászvár Fm., Mecseknádasd Member; gMo = Gyulakeszi Rhyolite Tuff Fm.; bdMk = Budafa Fm., Pécsvárad Member; bdMk = Budafa Fm., Komló Member; bdMk = Budafa Fm., Mánfa Member; fMk = Fót Fm.; tMk = Tar Dacite Tuff Fm.; teMk-b1 = Tekerés Schlieren Fm.; psMb1 = Pécsszabolcs Limestone Fm.; rMb2 = Rákos Limestone Fm.; szMb2 = Szilágy Claymarl Fm.; kMs = Kozárd Fm.; PPA1 = Peremarton Fm. Group; DPA2 = Dunántúl Fm. Group

sünk az volt, hogy ilyen kibillent, réteglépcsős szerkezet esetében az átlagmagasságnak tükröznie kellene a kőzet keménységét. Ezt az eredmények csak részben igazolták.

Az antiklinális területén egészen jó a korreláció, de ez inkább a maximális, mintsem az átlagértékekre igaz: pl. a legkevésbé ellenálló összletnek ismert Magyarürögi Evaporit átlagmagassága a fekü Patacsi Aleurolité fölött van, de a csúcserkében már alá szorul. A két legmagasabb tartományt a már említett alsótriász homokkövek és középsőtriász mészkövek adják, amelyek az antiklinális két gerincvonulatát alkotják. A puhább jura összlet után kiugrik az alsókréta Mecsekjános Bazalt, amelynek kemény, kiperarálódó telérei „tanúhegyek” létrejöttében is szerepet játszottak. Az antiklinálist övező fedőhegységi képződmények jóval alacsonyabb tartományban helyezkednek el. A felső-perm előtti kőzeteket kis kiterjedésük miatt kihagytuk az értékelésből.

### *Lejtés*

A magassági adatokból elkészítettük a vizsgálati terület lejtőszögtérképét (6. ábra), amin a legfeltűnőbb a süllyedő medencerészek elkülönülése a hegységi területektől. A legnagyobb lejtőszögeket a Mecsek mutatja, itt sokkal kevésbé válik el a K-i és a Ny-i rész, mint a domborzati térképen. A hegységen belül két folt mutat



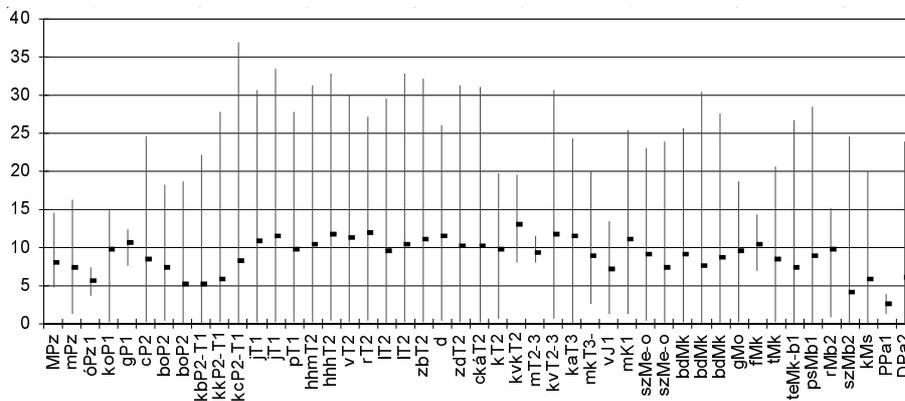
6. ábra. A terület lejtőszögtérképe (lejtés fokban, csoportbontás természetes határok szerint)

Slope angle map of study area (slope in degrees, classification based on natural breaks)

általában kisebb lejtést: a karszt – amit viszont néhány igen mély völgy tagol –, valamint a Jakab-hegy heglábfel­szí­ne. A D-i, kisebb törések hatása látványosan jelentkezik, az általuk sávosan/lépcsősen elvetett felszínek magasabb darabjaiba erősen bevágódnak a völgyek, ami a mozgás viszonylag fiatal voltára utal. Itt láthatunk még néhány kisebb kúpot is, amelyek tulajdonképpen tanúhegyek, a felső részüket alkotó ellenállóbb kőzetek (pl. bazalt) miatt maradhattak meg kiemelkedésként. A völgytorkoknál a lejtőszög ilyen felbontásánál a hordalékkúpok nem jelentkeznek. A szélesebb völgyek talpán több lépcső is megfigyelhető, amelyek helyzetét a szintvonalakkal összevetve megállapítható, hogy ezek nem szakaszonként eltérő szerkezeti mozgást jeleznek, hanem a domborzatmodell már említett interpolálási hibáját.

Nagy lejtőszögek jellemzik még a Görcsönyi-hát É-i részét, ami szintén a medence és peremterületei szintkülönbségének gyors növekedését támasztja alá. Az enyhébb lejtők sávos mintázata itt is az interpoláció eredménye. A Zselicben is több, meredek É-i és enyhe D-i lejtőkkel rendelkező felszínt találhatunk, aminek magyarázatát egyelőre nem ismerjük.

A Nyugat-Mecsekben az egyes képződményekre jellemző lejtőszögek középértékei viszonylag egyenletes mintázatot adnak (7. ábra). Az alaphegység kibúvási területén 10° fok körüli az átlag, a fedőhegységben nagyobb ingások mutatkoznak. Alacsony átlagértékek jellemzik a felsőperm homokkőveket, amelyek leginkább a nagy felületű, igen enyhe lejtésű heglábfel­szí­nen bukkannak felszínre. A maximális lejtőszögek szintén az alaphegységben a legegyszerűsebbek (30° körüliek), a fedőhegységben alacsonyabbak és változatosabbak. A csúcst a felsőperm–alsótriász Kővágószőlősi Homokkő felső részé adja, amelynek a már említett alsótriász konglomerátum által védett részén igen meredek lejtők alakultak ki.



7. ábra. Az egyes képződményekhez tartozó lejtőszög (átlag, ill. szélsőértékek, fokban) a Nyugat-Mecsekben (A jelmagyarázatot l. az 5. ábránál)

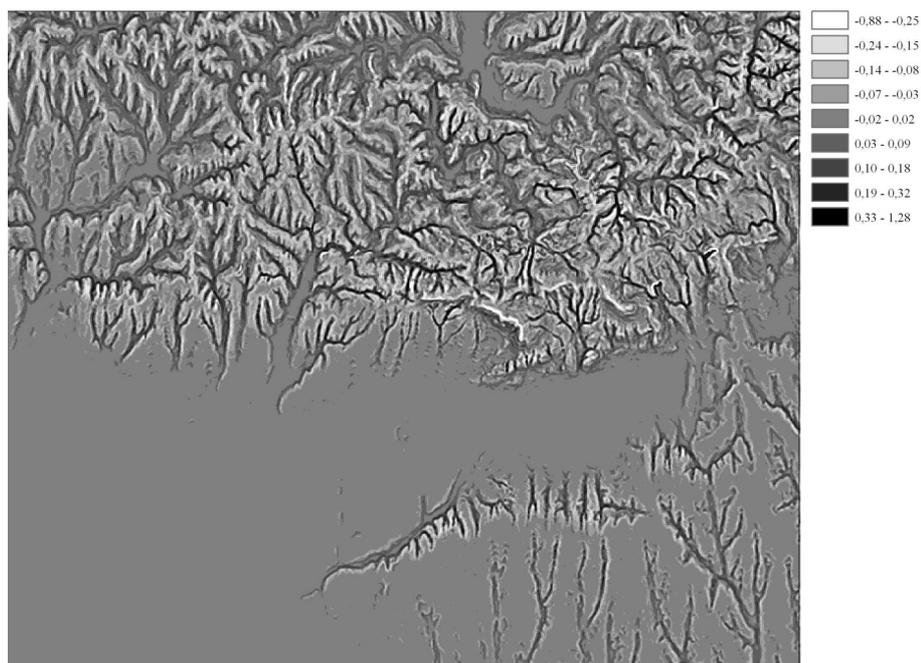
Slope angle (mean and extremes, in degrees) on given geological formations in Western Mecsek Mts. (For explanation see Fig. 5.)

### Felszín görbülete

A magassági értékekből kiszámítható a felszín görbülete is. A lejtőirányú felszín görbület (*profile curvature*) eredeti térképét 3 x 3 cellás mozgó maszkkal simítottuk, hogy a tendenciák jobban érzékelhetők legyenek (8. ábra). A negatív értékek domború, a pozitív értékek homorú formát jelölnek.

A térkép igen jól alkalmazható a völgyformák jellemzésére: az éles, bevágódó völgyek a homorú tartományban jelentkeznek, míg a feltöltődők sík talpúak. Szépen megfigyelhető a völgyek hosszirányú szakaszjelleg-változása is (pl. a Zselicben). A Cserkúti-dombokat és ÉK-i folytatásukat átvágó völgyek jól kijelölik a Mecsek-alja-öv segédtrései között kiemelkedett, már említett sávokat.

Érdekes módon a felszín görbületben sokkal erősebben jelentkeznek a völgyek, a gerincek kevésbé élesek. Ez már a DAVIS-féle eróziós ciklusban is a domborzat megfiatalodása, a régebbi tönkfelszínnek újbóli kiemelkedése esetén jellemző, ami nem ellenkezik a korábbi, jelentős pannon negyedidőszaki kiemelkedéssel számoló mecseki felszínfejlődési elméletekkel (LOVÁSZ GY.–WEIN GY. 1974; KOCH L. 1988; KONRÁD GY. 1988, 2004 stb.).



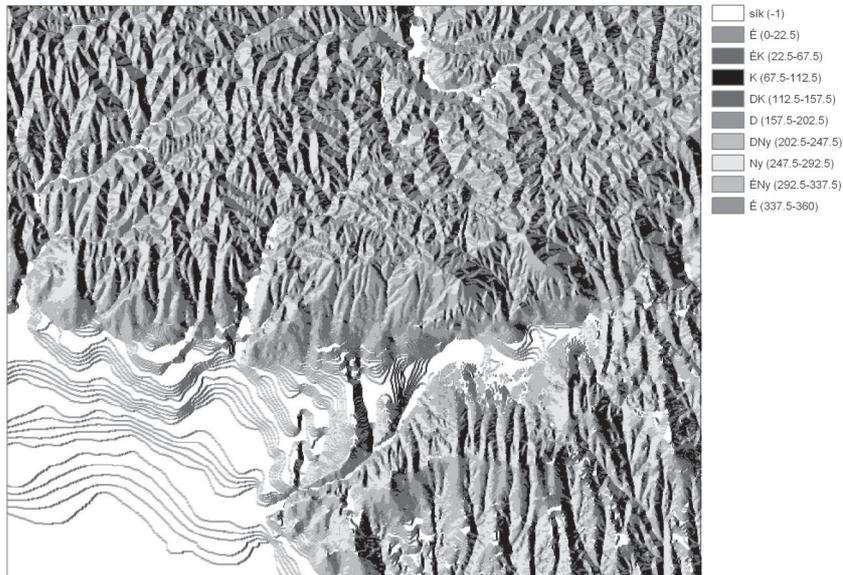
8. ábra. A lejtőirányú felszín görbület térképe

Profile curvature map

### Lejtőkiettség

A lejtőkiettséget ábrázolva (9. ábra) feltűnő az ÉK–DNy csapású általános szerkezet megjelenése. A nagyjából egyenletesen tagolt hegy- és dombvidéki részekkel ellentétben a Pécsi-medence D-i, de főleg az É-i oldala jelenti a legnagyobb, viszonylag egybefüggő felszíneket. A Nyugat-Mecsek D-i peremén a segédtörések mentén háromszög alakú felszínek (ún. vasalótalpak, angolul *flatirons*) sorozata látható, ami jellemző pl. kiemelt hegységek hegységperemeire vagy általában fiatal kiemelkedésekre.

Kiugró még a Pécsi-medencét Ny-ról lezáró Bicsérdi-hát (vagy Bicsérdi-nyereg), ami egyébként alacsony lejtőszöge miatt az egyszerű domborzati térképen alig látszik. Valószínűleg ez a valamikor magasabb hát lehetett az oka, hogy a Pécsi-víz nem a mai medenceterületen keresett lefolyást, hanem a Göröcsönyi-hát ÉNy-i részén, amelynek emelkedése során abba erősen bevágódott, mély antecedens völgyet alakítva ki. Szintén jól látszik a mai Pécsi-medence legmélyebb, sík része (Pellérdi-tavak és környékük), a Mecsekből lefutó vizek jelentős hordalékkúpjai, valamint hogy a medence, bár nem egyenletesen, de DNy felé lejt. Fontos kiemelni, hogy a Bükkörsdi-völgy előtt nem halmozódott fel hordalékkúp, ami az előtér erős süllyedésének tulajdonítható. A süllyedés igen régóta tart, hiszen a Szentlőrinci-medence a környék egyik legmélyebb kainozóos medencéje, ahol több, mint 1000 m mélyen paleogén üledék található (tehát a süllyedés már a paleogénben is létezett) (KONRÁD GY. 2004). A kiettségi adatok segítségével az igen enyhe domborzatú medenceterületen is követhetők az É–D lefutású völgyek.



9. ábra. Lejtőkiettségi térkép

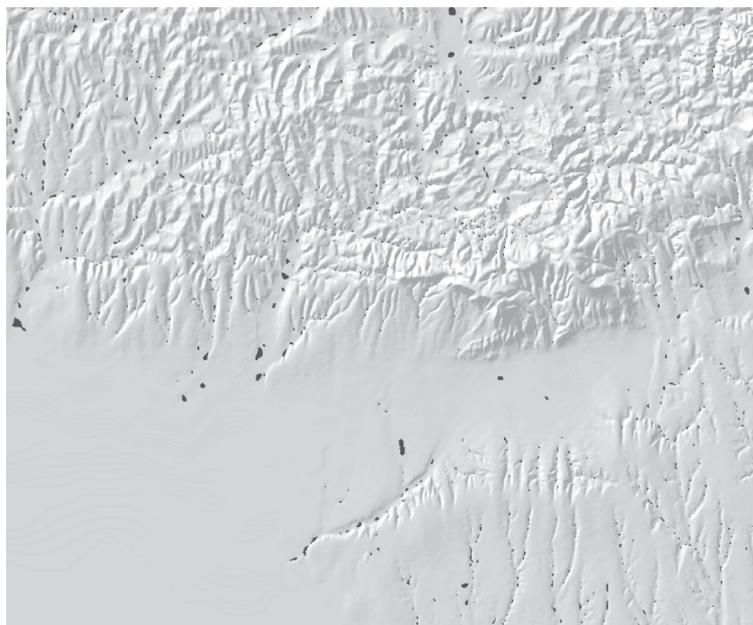
Aspect map

## Lefolyásviszonyok

### a) Lefolyástalan területek

A domborzatmodellek gyakori hibája az – általában kis kiterjedésű – lefolyástalan területek megjelenése. Ez 10 m-nél nagyobb cellaméret esetében sokszor a magassági adatok pontszerű hibáiból adódik, de – mint jelen esetben – lehet az interpolálás következménye is. A lefolyásviszonyok vizsgálatához, a kutatási területhez hasonló, egyébként normális lefolyású területen (tehát ahol a valóságban nem vagy igen ritkán jelennek meg belső lefolyású részek) szükséges ezen hibák kijavítása, egy ún. „depressziómentes” DDM előállítása. Amennyiben a DDM-en megjelenő mélyedések a valóságban is léteznek, úgy ezeket a konkrét területeket vagy nem javítjuk, vagy a javítást az értékeléskor figyelembe kell venni. Így pl. a földtörténeti léptékben nézve elhanyagolható idő óta létező kőbányákat „fel kell tölteni” a természetes lejtőviszonyok megközelítéséhez, míg a medencékben fekvő süllyedékek elfogadhatók, mint belső lefolyású régiók.

A 10. ábra a domborzatmodellen található lefolyástalan területek elhelyezkedését mutatja. Feltűnő, hogy a mélyedések a legtöbb esetben a völgytalpakat követik, még a szűk, mélyen bevágódó völgyekkel tagolt (tehát biztosan normális lefolyással rendelkező) tájegységeken is; az egyenes, széles talpú völgyekben (pl. Bükkösdi-völgy, Baranya-csatorna völgye) különösen kitűnnek a nagy foltok. Két helyszín mé-



10. ábra. A lefolyástalan területek elhelyezkedése

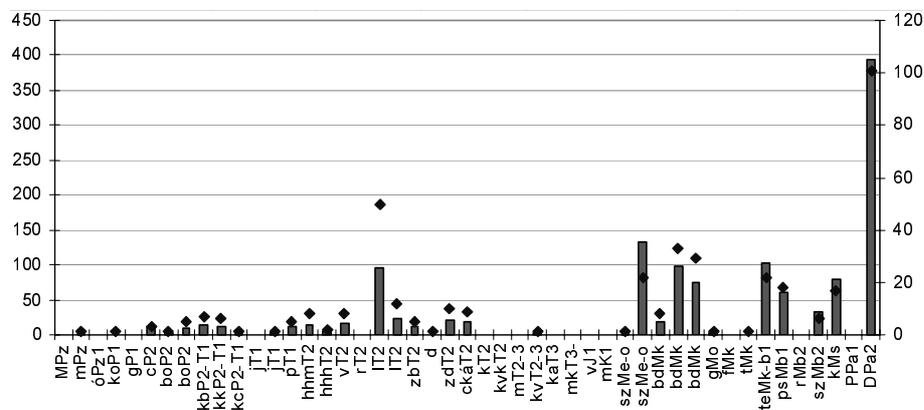
Location of drainless areas

lyedései nem kötődnek völgytalpakhoz: a Pécsi-sík közepén elhelyezkedő folt, valamint a nyugat-mecseki karszt töbrei.

Bár a völgyekben (pl. a Bükkösi-völgy alsó részén) vannak nádas, vizenyős foltok, általában nem jellemző lefolyástalan részek előfordulása. A lefolyástalan területek hisztogramján a domborzatmodellhez hasonlóan 10 m-enkénti csúcsokat kapunk, a 10 m-es szakaszokon belül ugyanúgy felfelé növekvő területű magassági osztályokkal. A szintvonalak fedvényével összevetve megfigyelhető, hogy a legtöbb esetben a lefolyástalan foltok a szintvonalak erős görbületeinél, közvetlenül a szintvonal alatt fordulnak elő (ez igaz a fent említett Bükkösi-völgy esetében is), így a völgytalpi foltok interpolálási hibának minősíthetők.

A lefolyástalan területek szétválogatása rétegtani egységenként segíthet a modellhibák és a valós felszínformák elkülönítésében, ezt a műveletet mind a Nyugat-Mecsek szűkebb területére, mind a teljes vizsgálati területre elvégeztük.

A Nyugat-Mecsek negyedidőszaktól fedetlen földtani térképét (11. ábra) vizsgálva láthatjuk, hogy a tárgyalt foltok az alaphegységi területeken viszonylag kis számban fordulnak elő. Ez alól kivételt a középsótriász mészkövek jelentenek, amelyek a térség egyedüli karsztosodó összletét alkotják. A számos töbrrel tagolt területre jellemző, hogy a viszonylag kis összterület igen nagy számú folt között oszlik meg. A mélyedések nagyobbik része a neogén és főleg a pannon képződményeken helyezkedik el, amelyek a vizsgált terület alacsonyabban fekvő részeit fedik, a hibának minősített völgytalpi foltok nagyrészt ezeken találhatóak.

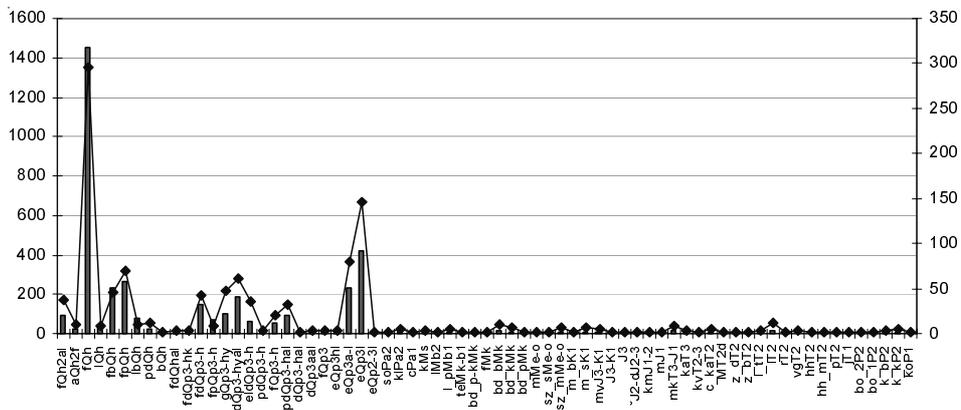


11. ábra. A lefolyástalan területek képződményenkénti megoszlása a Nyugat-Mecsek területén a prekvarter földtani térkép alapján. Bal oldali tengely és oszlopok = pixelszám (terület); jobb oldali tengely és pontok = foltok száma. (A jelmagyarozatot l. az 5. ábránál)

Distribution of drainless areas among geological formations in Western Mecsek Mts. based on pre-Quaternary geological map. Left axis and bars = number of pixels (area); right axis and point markers = number of patches. (For explanation see Fig. 5.)

A teljes terület fedett földtani térképén (12. ábra), amely jóval nagyobb arányban tartalmaz fiatal képződményeket, a középsőtriász csúcs már alig jelent kiugrást. A magas értékeket a pleisztocén lösz, a felsőpleisztocén folyóvízi és lejtőüledékek, valamint a völgyek legtöbbször kitöltő holocén folyóvízi, ill. a tavi-mocsári összletek adják. Ez utóbbi csoport az, amelyen megalapozottan fordulhatnak elő lefolyástalan területek.

A DDM javításakor először megkerestük a bizonytalan lefolyású cellákat, majd azokat a vízvázalástójuk legmélyebb pontjának szintjére töltöttük föl. Ez a művelet a módosított cellák szomszédságában újabb lefolyástalan részek megjelenését eredményezheti, így a javítási ciklust ezek eltűnéséig kell ismételni. A feltöltés a 15. lépés után eredményezett teljes lefolyással rendelkező DDM-et; a legnagyobb területet a Pécsi-medence alján kellett feltölteni.



12. ábra. A lefolyástalan területek képződményenkénti megoszlása a teljes vizsgálati területen a fedett földtani térkép alapján. Bal oldali tengely és oszlopok: pixelszám (terület); jobb oldali tengely és pontok: foltok száma. – aQh2f = antropogén feltöltés; fbQh, fdQhal, fdQp3-h, fdQp3-hk, fpQh, fpQp3-h, fQh, fQh2al, fQp3, fQp3-h, bQh = negyedidőszaki folyóvízi és mocsári üledékek; lQh, lbQh = negyedidőszaki tavi-mocsári képződmények; dQp3aal, dQp3-hal, dQp3-hyal, eldQp3-h, gQp3-hy, pdQh, pdQp3-h, pdQp3-hal = negyedidőszaki lejtőüledékek; eQp2-3l, eQp3a-l, eQp3hl, eQp3l = lösz; klPa2, soPa2, cPa1 = pannóniai laza üledékek; kMs, lpMb1, lMb2, mMe-o = miocén karbonátok és andezit; mJ1, kmJ1-2, óJ2-dJ2-3, mvJ3-K1, J3, J3-K1 felső-jura – alsó-kréta képződmények; a többi képződményt l. az 5. ábránál

Distribution of drainless areas in the whole study area based on Quaternary geological map. Left axis and bars: number of pixels (area); right axis and point markers: number of patches. – aQh2f = artificial filling; fbQh, fdQhal, fdQp3-h, fdQp3-hk, fpQh, fpQp3-h, fQh, fQh2al, fQp3, fQp3-h, bQh = Quaternary fluvial and paludal sediments; lQh, lbQh = Quaternary limnic-paludal sediments; dQp3aal, dQp3-hal, dQp3-hyal, eldQp3-h, gQp3-hy, pdQh, pdQp3-h, pdQp3-hal = Quaternary slope sediments; eQp2-3l, eQp3a-l, eQp3hl, eQp3l = loess; klPa2, soPa2, cPa1 = Upper Miocene unconsolidated sediments; kMs, l\_pMb1, lMb2, mMe-o = Miocene carbonates and andesite; mJ1, kmJ1-2, óJ2-dJ2-3, mvJ3-K1, J3, J3-K1 Upper Jurassic – Lower Cretaceous formations; for other rocks see Fig. 5

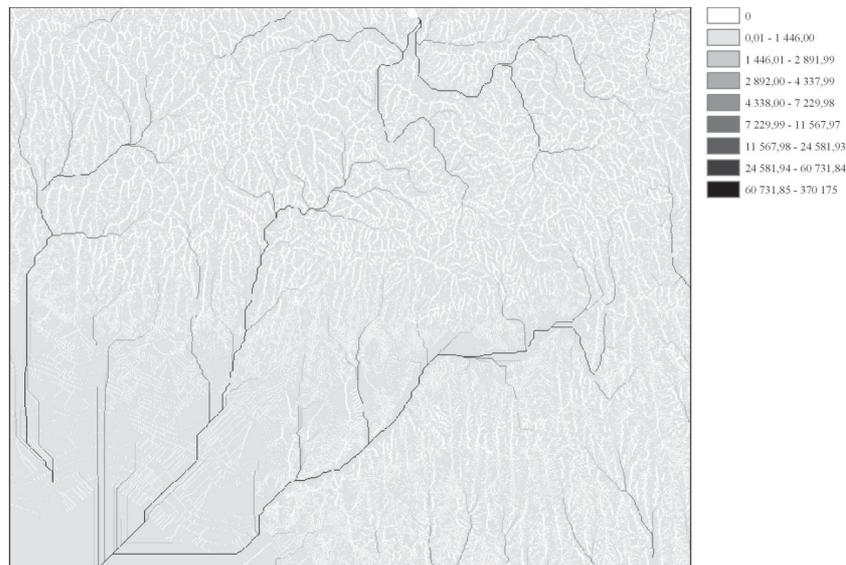
### b) Vízrajz

A javított felszínen számoltuk tovább a lefolyást (*flow accumulation*). (Ennek értékei azt mutatják, hogy az adott cellára lefutó víz hány másik cellán gyűlik össze). A kutatási területre elkészített térkép a közel sík DNy-i rész felé egyre bizonytalanabb lefolyásviszonyokat jelzett, ezért szélesebb területre is elvégeztük a számítást, és ebből vágtuk ki a minket érdeklő részt (13. ábra).

A térkép kirajzolja a legjelentősebb vízfolyásokat: Pécsi-víz, Bükkösd-víz, Széki-víz (ma: Baranya-csatorna), Almás-patak. Ez utóbbi kivételével az összes többinek a lefutása erős földtani-szerkezeti meghatározottságot mutat, amelynek okaira itt nem térünk ki.

Ha a lefolyási térképet összevetjük a vízfolyások fedvényével, megállapíthatjuk, hogy a patakok lefutása több helyen nem egyezik a domborzatmodell által kijelölt nyomvonalakkal. Ez részben a modell feltöltésének, részben pedig a főbb vízfolyások vízrendezési, csatornázási munkáinak a következménye. A síksági terület vízviszonyaira jellemző a nagyszámú csatorna, ami mögött állhatnak valóban bizonytalan lefolyási irányok.

A Bicsérdi-küszöbre, amelynek anyagát mecseki törmelék alkotja, ma is jelentős vízmennyiség érkezik az antiklinálisból. A Pécsi-medence K-i részén több vízfolyás kaptúrája is látható (Pécsszabolcsi-patak, Basamalom környékén), amelyek je-



13. ábra. Lefolyási adatok térképe, a számok az egyes cellákhoz tartozó vízgyűjtő területet jelzik (db/cella); osztályozás természetes határok szerint

Flow accumulation map; the numbers refer to catchment belonging to the individual cells (number of cells); classification based on natural breaks

lentős vízgyűjtő területtel rendelkeznek. Ezek kialakulása a Pécsi-medence besüllyedésének köszönhető, amikor az É–D-i patakok felső szakaszát a Pécsi-víz hódította el a Karasica vízgyűjtőjéből.

## Értékelés

A DDM morfológiai elemzése számos helyen támasztja alá, hogy a (tágabb értelemben vett) Nyugat-Mecsek és a Görcsönyi-hát, valamint a medenceterület egymással ellentétes függőleges mozgást végzett a földtani közelmúltban és vélhetően végez ma is (a geológiai adatok alapján mind a hegység emelkedése, mind a medence süllyedése folyik):

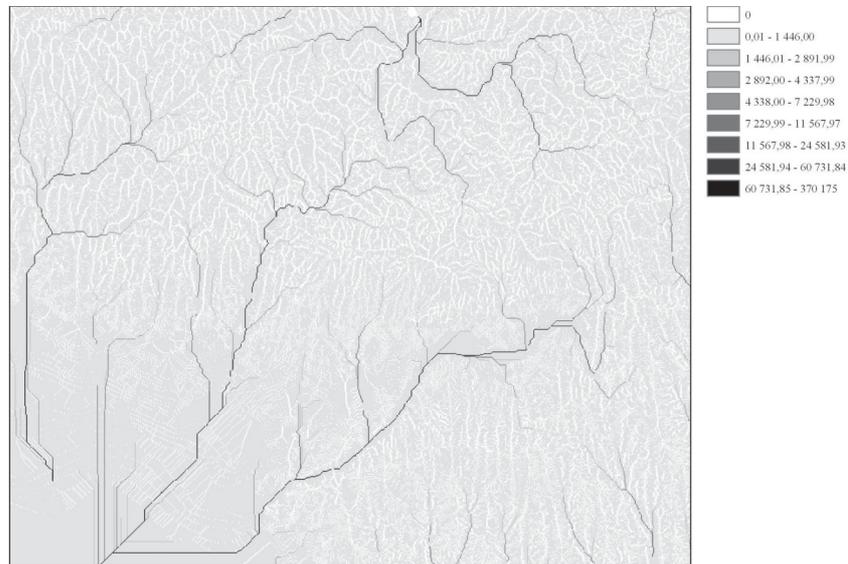
A Görcsönyi-hát viszonylagos emelkedését mutatják a Pécsi-medence felé erősen bevágódó völgyek, a meredek É-i lejtők, a Pécsi-víz mély antecedens völgye.

A Mecsekben a könnyen pusztuló evaporiton kialakult völgyek folyamatban lévő hátravágódása, a jelentős előtéri hordalékkúpok, általában a magas lejtőszög-értékek, a laposabb gerincekkel szemben nagy homorú görbülettel rendelkező völgyek jelzik a fiatal emelkedést. Az antiklinális éles D-i határa a Mecsekalja-öv mentén, a segédtörések lineamensei és a köztük kiemelt háta, az ezeket frissen átvágó vízfolyások, a vasalótalpak egyes – a földtani térképeken ilyen formában esetleg nem is szereplő – szerkezeti vonalak közelmúltbeli aktivitására utalnak.

A Pécsi-medencében a medencét É-ről és D-ről határoló lejtők viszonylag egységes kitétsége, a legnagyobb lefolyástalan terület, a környező vízfolyások kaptúrái, a Szentlőrinci-medencében a hordalékkúp hiánya (az evaporitos völgy ellenére) a ma is zajló medencemélyülés következményei. A korábbi É–D-i völgyek le-süllyedt szakaszai még láthatók a peremi részen.

A morfológiai eredmények és a földtani adatok összevetésével fejlődéstörténeti következtetésekre is lehetőség nyílik.

A vízhálózatot az árnyékolt domborzatmodellre vetítve (14. ábra) még jobban látható az a folyamat, ahogy a K felé terjeszkedő Pécsi-medence kettévágja, lefejezi a D-re futó vízfolyásokat. Mivel a völgyek löszbe vágódnak, a pleisztocén során kellett kialakulniuk. A medence ekkor morfológiailag még nem létezett (szerkezetileg már sokkal hosszabb ideje kialakult, ld. KONRÁD GY. 2004), mert D-i peremén a löszben számos helyen találjuk meg a Mecseket fölépítő kőzetek törmelékanyagát (LOVÁSZ GY. 1998; KONRÁD GY. 2001b. stb.), azaz ekkor a hegyekben eredő vizek akadálytalanul haladhattak D felé. A würm löszben, majd annak tetejébe vágódva jelennek meg a Pécsi-víz mai, DNy-i irányával megegyező csapású medrek, tehát a medence a felső-pleisztocén során kezdett mélyülni. A levezető vízfolyás bevágódása nem mindig tudott lépést tartani a – valószínűleg szakaszos – mélyüléssel: SZABÓ P.Z. (1955) szerint régészeti leletek alapján a bronzkorban a medencét tó töltötte ki. A Görcsönyi-hátba vágódó antecedens völgy ma 30 m mélyen bevágódva húzódik, ha ezt a felső-pleisztocénre és a holocénre osztjuk el, akkor 0,15–0,3 mm/év nagyságrendű bevágódási ütem adódik.



13. ábra. Lefolyási adatok térképe, a számok az egyes cellákhoz tartozó vízgyűjtő területet jelzik (db/cella); osztályozás természetes határok szerint

Flow accumulation map; the numbers refer to catchment belonging to the individual cells (number of cells); classification based on natural breaks

A nyugat-mecseki előtérmedencék fejlődéstörténetének vizsgálata során más módszerek felhasználásával KONRÁD GY. (2004) ezek mozgási sebességére ezekhez a számokhoz képest egy nagyságrenddel kisebb értékeket kapott; ez a kérdés mindenképpen további tanulmányozást igényel. Jelenleg a medence süllyedése erősebb az antecedens völgy mélyülésénél, hiszen legmélyebb része, a Pellérdi-tavak környéke ma valóban részben lefolyástalan terület.

### Összefoglalás

A domborzatmodell elemzése jó kezdeti eredményeket hozott mind a morfotektonikai, mind a hidrológiai témakörben. Megállapíthatjuk, hogy a DTM segítségével:

- azonosíthatók fiatal tektonikával érintett területek,
- meghatározhatók a tektonikai elemek,
- elemezhető a földtani felépítés és a morfológia kapcsolata, és
- a DTM támogatja a fejlődéstörténeti vizsgálatokat is.

A munka során használt katonai DDM-50 geomorfológiai és hidrológiai elemzésekhez csak korlátozottan alkalmazható, a szintvonalak interpolálásából származó hibák miatt. Ilyen célokra egy fotogrammetriai úton nyert domborzatmodell felelne meg.

## IRODALOM

- BALLA Z. 1980. Fáciesváltozások és magmás jelenségek kapcsolata mélytörésekkel a geosinklinálisok tana és lemeztektonikai elmélete szemszögéből. – MÉV Adattár, Pécs. Kézirat.
- CHIKÁN G.–CHIKÁN G.–NÉ–KÓKAI A. (szerk.) 1984. A Nyugati-Mecsek földtani térképe. 1:25 000. – MÁFI kiadv., Budapest.
- HÁMOS G. 1997. Földtani és bányászati kutatás a Nyugat-Mecseki Antiklinális területén, a Bodai Formációnak, mint radioaktív hulladékbefogadó közetösszletnek az alkalmassága vizsgálatára. – Földtani Kutatás, 34. 3. pp. 46–52.
- KARÁTSON D. (szerk.) 2002. Magyarország földje. – Pannon Enciklopédia sorozat. Magyar Könyvklub, Budapest, 555 p.
- KOCH L. 1988. Geomorfológiai vizsgálatok a Nyugat-Mecsekben. – J-1309. sz. dok., MÉV adattár, Pécs. Kézirat.
- KONRÁD GY. 1998. A Nyugat-Mecsek késő-kainozóos fejlődéstörténete. Jelentés a Bodai Aleurolit formáció 1995–1998. évi kutatásáról. – MECSEKÉRC Rt. adattár, Pécs. Kézirat.
- KONRÁD GY. 2001a. A Bodai Aleurolit szerkezeti helyzetének kulcskérdései a földtani térképezés tükrében. –: „A Dél-Dunántúl neotektonikája a Bodai Aleurolit Formáció, mint a nagyaktivitású radioaktív hulladékok potenciális befogadó képződménye szempontjából”, MTA Pécsi Akadémiai Bizottság előadói nap (2001. máj. 31.) előadása, Pécs.
- KONRÁD GY. 2001b. A Dél-Dunántúl átfogó neotektonikai elemzése, különös tekintettel a hosszú távú stabilitás, ill. a szeizmológiai kockázatok kérdéseire című tanulmányhoz kapcsolódó BAF-2000/12. sz. szerződés szerint készülő részmunkák eredményei. – MECSEKÉRC Rt. adattár. Pécs, Kézirat.
- KONRÁD GY. 2004. Jelentés a Mecsek déli előtere neogén medenceüledékeinek tektonikai értékeléséről. – MECSEKÉRC Rt. adattár, Pécs. Kézirat, 51 p.
- LOVÁSZ, GY. 1970. Surfaces of Planation in the Mecsek Mountains. – In: PÉCSI, M. (ed.): Problem of relief planation. Studies in Hungarian Geography 8., Akad. Kiadó, Budapest, pp. 65–72.
- LOVÁSZ GY. 1998. A Nyugat-Mecsek késő-kainozóos felszínfejlődése. – Jelentés. MÉV adattár, Pécs. Kézirat.
- LOVÁSZ GY.–WEIN GY. 1974. Délkelet-Dunántúl geológiája és felszínfejlődése. – Baranya monográfia sorozat, Pécs, 215 p.
- MÁFI 2004. Fedett földtani térkép a 2. kutatási területre. – MECSEKÉRC Rt. adattár, Pécs. Kézirat.
- MAJOROS GY. 2003. A 2. jelű kutatási terület földtani tervezési térképe a kainozoikum elhagyásával. – In: KOVÁCS L. (szerk.): Kutatási terv a BAF minősítését célzó Középtávú Program 1. kutatási fázisához (2004–2006). 8. sz. mell., MECSEKÉRC Rt. adattár, Pécs.
- SEBE K.–KONRÁD GY.–HÁMOS G. 2004. A Nyugat-Mecsek digitális terepmodelljének földtani értelmezése. – In: TÓTH J.–BABÁK K. (szerk.): Földrajzi tanulmányok a pécsi doktoriskolából 4. PTE Földrajzi Intézete, Pécs, pp. 61–70.
- SZABÓ P.Z. 1931. A Mecsek hegység formáinak ismerete. – Földr. Közl. 49. 9–10. pp. 165–180.
- SZABÓ P.Z. 1955. A fiatal kéregmozgások geomorfológiája és népgazdasági jelentősége Dél-Dunántúlon. – Dunántúli Tudományos Gyűjtemény 4., Pécs, 11 p.
- SZABÓ P.Z. 1957. A Délkelet-Dunántúl felszínfejlődési kérdései. – Dunántúli Tudományos Gyűjtemény 13., Pécs, pp. 397–413.
- TARI, G.–HORVÁTH, F.–RUMPLER, I. 1992. Style of extension in the Pannonian Basin. – Tectonophysics 208. 1–3. pp. 203–219.