

DIGITÁLIS DOMBORZATMODELLEK HASZNÁLATA A KARSZTKUTATÁSBAN

TELBISZ TAMÁS

ELTE Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C.,
telbisztom@ludens.elte.hu

Abstract: Digital elevation models (DEMs) may significantly contribute to the research of karst terrains. First, the morphometrical methodology is enlarged. Depending on the quality of the DEM, greater amount of precise data can be evaluated statistically. Also, some new morphometrical parameters which require advanced calculations can be taken into consideration. Secondly, the DEMs of karst terrains may help in developing dynamic models of landforms evolution and these can be used as test areas. Thirdly, the visualization of DEMs help the scientific education and may lead to new hypothesis. In this study, DEMs of karst landforms at different scales are presented (karren, dolines, karst mountains). Data collection methods (field data, topographic maps, SRTM) are discussed and some results of morphometrical calculations based on the DEMs are analyzed.

Bevezetés

A természetföldrajzi és felszínalaktani kutatásokban jelenleg az anyagvizsgáló módszerek fejlődése mellett a térinformatikai megközelítés rohamos térnyerése állapítható meg (ld. pl. *DETREKŐI-SZABÓ* 1995). Karsztos területekre vonatkozólag is megkezdődött a térinformatikai adatbázisok kiépítése és elsősorban tájöldrajzi jellegű elemzése (pl. *GRUBER* 2003, *KEVEINÉ BÁRÁNY-ZBORAY* 2001, *KEVEINÉ BÁRÁNY* et al, 2003, *MARI* 2003). Ugyanakkor viszonylag kevés munka foglalkozik kifejezetten a karsztos területek formakincsének digitális domborzatmodell (továbbiakban: DDM) alapján történő értékelésével. A közelmúltban megkezdett kutatásaiban így ezzel kívánunk behatóbban foglalkozni és a jelen tanulmányban az alapelvekről, a lehetséges megközelítésekről adunk egy vázlatot néhány példán keresztül.

A digitális domborzatmodellezést ebben az összefüggésben egy eszköznek tartjuk, mely az alábbi célok elérését segítheti elő:

1. Bővíti a morfometriai elemzések eszköztárát, ami az egyes tájak összehasonlításában illetve bizonyos esetekben genetikai következtetések megfogalmazásában nyújthat segítséget.
2. Előkészíti a dinamikus modellek kialakítását. Ez utóbbi modellek a statikus domborzatmodellekkel szemben a folyamatokat (pl. vízmozgás, felszín változásai, stb.) próbálják megragadni (pl. *TELBISZ* 2003b).
3. Gondolatébresztő ábrázolások révén hozzájárulhat a karsztokra vonatkozó tudásunk gyarapodásához.

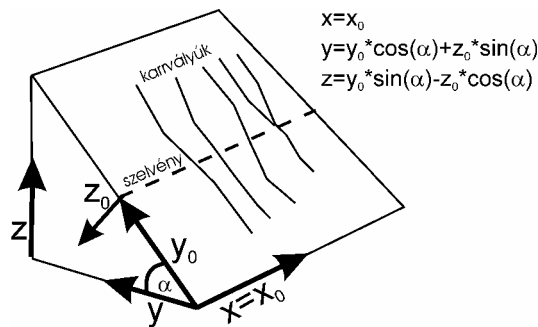
A DDM-ek értékelésében – a hagyományos térképekhez hasonlóan – rendkívül fontos a felhasznált adatforrás ismerete és a térbeli lépték helyes megválasztása. Az alábbiakban néhány eltérő adatforrás alapján és különböző léptékben készült karsztos DDM kialakításának illetve elemzésének lehetőségeit ismertetjük.

1. Az első típusú DDM karrokról készült, terepi felvételezés alapján.
2. A második típusú DDM a töbrök mérettartományát ábrázolja részletes topográfiai térképek alapján.
3. A harmadik típusú DDM hegységnyi méretű tájakat mutat be, topográfiai térképek, illetve radarmérések (SRTM) alapján.

Karrformák digitális domborzatmodellezése

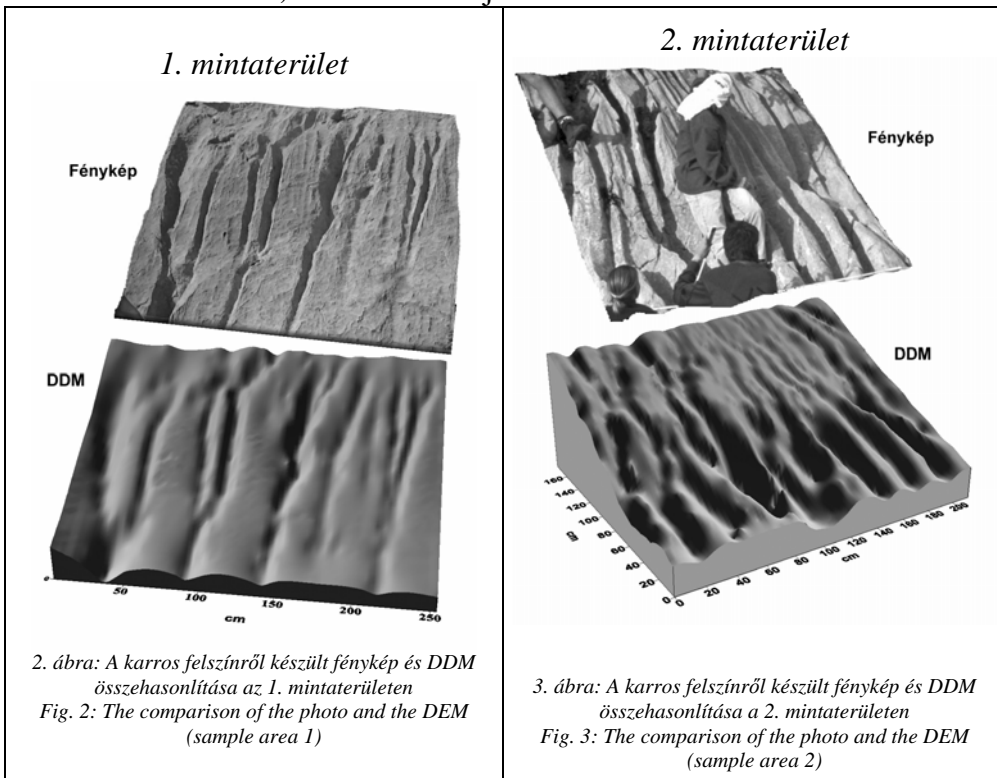
A karsztos felszínnek oldásos kisformáiról, a karrokról számtalan morfometriai tanulmány ismeretes. Készültek már nagy felbontású karrtérképek is (pl. SZUNYOGH et al, 1998; VERESS-BARNA 1998). Fénykép-alapú térinformatikai megközelítést mutat be TÓTH-SCHLÄFFER (2004) tanulmánya ebben a kötetben. Azonban karros felszínt ábrázoló DDM kialakítására eddig még nem került sor. A DDM alapján kiszámítható a karrok térfogata, amely a lepusztulás egyfajta becslését adja.

A karros DDM-ek létrehozásához az Északi-Mészkő-Alpokban gyűjtöttünk adatokat. Két helyszínen végeztünk méréseket: az első helyszín a Totes-Gebirgében volt, 1950 m magasan, a Rotgschirr-csúcstól DK-re fekvő kárfülke pereméhez közel. A második mérésre a Dachstein-hegységben, 1700 m magasan, a fennsík északi részén a Schilcher H. közelében került sor. Mindkét esetben egy vályúkarokkal tagolt 32°-os dőlésszögű rétegfejet választottunk ki. A felmérések során nagyjából 2x2m-es felszínű négyzet alakú területeket határoltunk le. A peremeket kifeszítve a szintvonalakkal párhuzamosan 10 cm-ként végigszelvényeztük a mintaterületeket. A szelvényeken belül ott vettünk fel pontokat, ahol jelentősebb változás volt megfigyelhető, azaz lényegében a szelvény menti karros felszín „*töréspontjainál*”, ennek következtében a vályúk mentén sűrűbben, néhány cm-enként, a sík részeken ritkábban, dm-enként adódtak a pontok. Így jött létre egy nyers adatbázis, amely a rétegfej síkjában mért $(x_0; y_0)$ koordinátákhoz rendelve tartalmazta a sziklák egyes pontjainak ettől a síktól mért távolságát (z_0) . Ezt az 1. ábra szerint átalakítottuk (x,y,z) vízszintes ill. függőleges térkoordinátákká.



1. ábra: Karrok felmérési koordinátáinak konvertálása vízszintes ill. függőleges koordinátákká.
 Fig. 1: Conversion of karren coordinates from field data to horizontal, vertical values

Az így módon átalakított adathalmaz pontjait krigelés módszerrel interpolálva kaptuk meg a szabályos vízszintes rácshálóra illeszkedő DDM-et. A krigelés akkor nyújtotta a legkielégítőbb eredményt, ha anizotrópiát tételeztünk fel, mégpedig lejtőirányban. Ennek háttérében az az egyszerű tény áll, hogy a magassági értékek a lejtő irányú vályúknak megfelelően ebben az irányban mutatnak szorosabb korrelációs összefüggést. Az eredményül kapott DDM-ek és a mintaterületek fényképeinek összehasonlítását a 2, 3. ábrák mutatják.



--	--

A képekről is megállapítható, hogy a dachsteini karros mintaterület sokkal tagoltabb, mélyebb. A terepi megfigyelések alapján valószínűnek látszik, hogy a 2. számú mintaterületen erősebb talajborítás lehetett, ami a vályúk jelentős mélyülését okozta. A vizuális összehasonlításon túl az adatokról nyújt összehasonlítást az *I. táblázat*. Természetesen ez a táblázat nem általános összefüggések levonását célozza, hanem egy hosszabb távra tervezett munka módszertanát szemlélteti. Az interpoláció, a DDM ábrázolása és a számítások a *Surfer* program segítségével történtek.

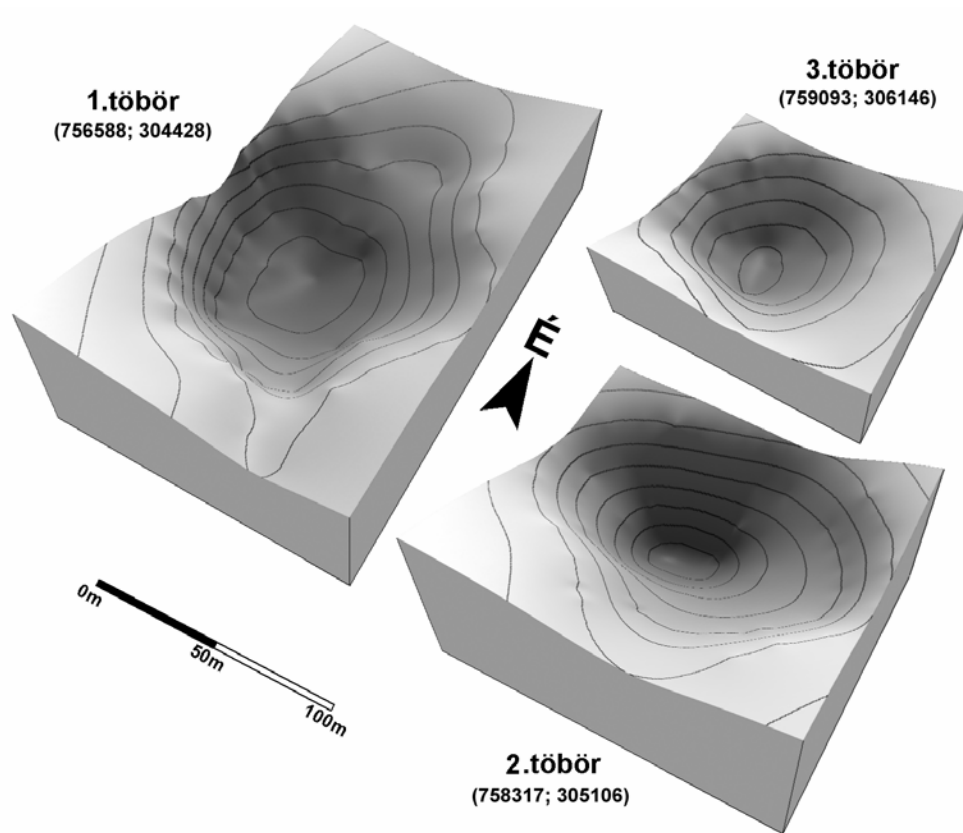
I. táblázat
Table I.

Vályúkarros rétegfekék összehasonlítása DDM alapján
Comparison of rinnenkarren based on the DEM

<i>Helyszín (Site)</i>	<i>Alapterület (Area, m²)</i>	<i>Rétegfeké síkja és a tényleges felszín különbségéből számított térfogat (Volume, cm³)</i>	<i>Egységnyi területre jutó karros lepusztulás (Average denudation, cm)</i>	<i>Maximális karmélység (Max. depth of karren, cm)</i>
Totes-Gebirge	4,41	99 617	2,26	19
Dachstein	3,77	453 633	12,02	65

Digitális töbrömodellek értékelése

A töbrök – méretüknél fogva – az 1:10000-es méretarányú térképeken az ábrázolhatóság alsó határán helyezkednek el. Míg az apróbb mecseki dolinák közül számos hiányzik az ekkora léptékű térképszelvényekről (*HEVESI* 2001), addig az Aggteleki-karszton és a Bükkben (mivel a töbrök többsége ezekben a hegységekben nagyobb) lényegesen jobb a helyzet. Azonban ez utóbbiak esetében is a mélységi viszonyok ábrázolása gyakran elnagyolt. Ezért a töbrök precíz geometriai vizsgálatokhoz szintén szerencsésebb terepi felmérésekre (pl. *PÉNTEK* et al, 2000; *FARSANG-TÓTH* 1993) vagy nagy felbontású légi felvételekre (*ZBORAY-KEVEINÉ BÁRÁNY* 2004) támaszkodni. Mivel nekünk nem álltak rendelkezésemre ilyen adatok, ezért a töbrök módszertani célú DDM-vizsgálatához 3 olyan bükki (nagyfennsíki) töbröt választottunk ki, amelyeket legalább 5 zárt szintvonal (segédszintvonalakkal együtt) jelzett a térképen. A DDM kialakítása ez esetben egyszerű volt: szintvonalak digitalizálása és interpoláció (*4. ábra*). A további számításokban a legkülső zárt szintvonallal definiáltuk a töbrök peremét.



4. ábra: 3 bükki dolina DDM-je (zárójelben az EOY koordináták)
 Fig. 4: DEMs of 3 dolines in the Bükk Mts. (with Hungarian coordinates)

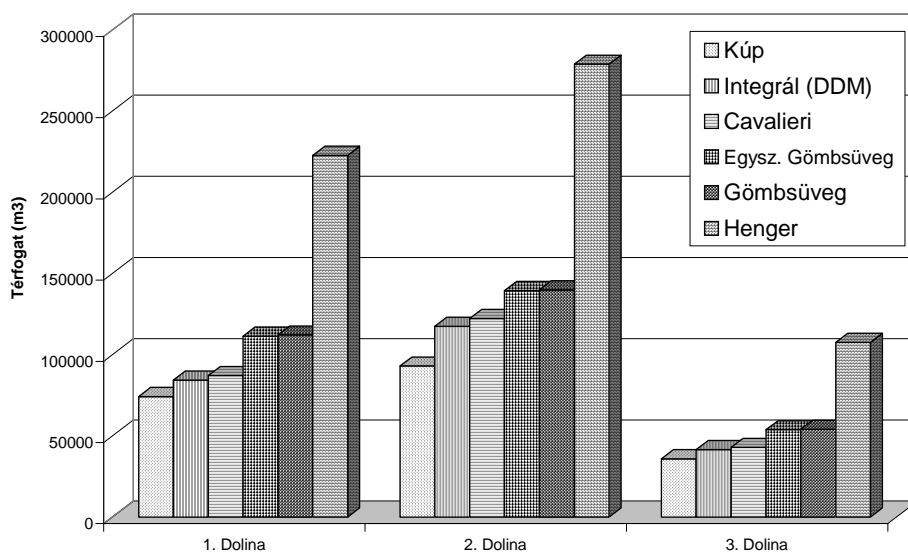
A karsztos területek lepusztulásának jellemzésében fontos tényező lehet a töbrök térfogatának meghatározása. Az általunk kiválasztott 3 töbör példáján a különböző töbrötérfogat-számítási módszereket kívánjuk bemutatni. A szakirodalomban (pl. SZABÓ 1998, TELBISZ 2003a) előforduló korábbi, egyszerűbben számolható eljárások és a DDM segítségével kivitelezhető műveletek képleteit illetve eredményeit mutatja a II. táblázat és az 5. ábra.

II. táblázat

Table II.

Töbörtérfogat-számítási eljárások és az általuk szolgáltatott eredmények eltérései a 3 bükki dolina példáján
Doline volume calculation formulae and the results for the 3 dolines in the Bükk Mts.

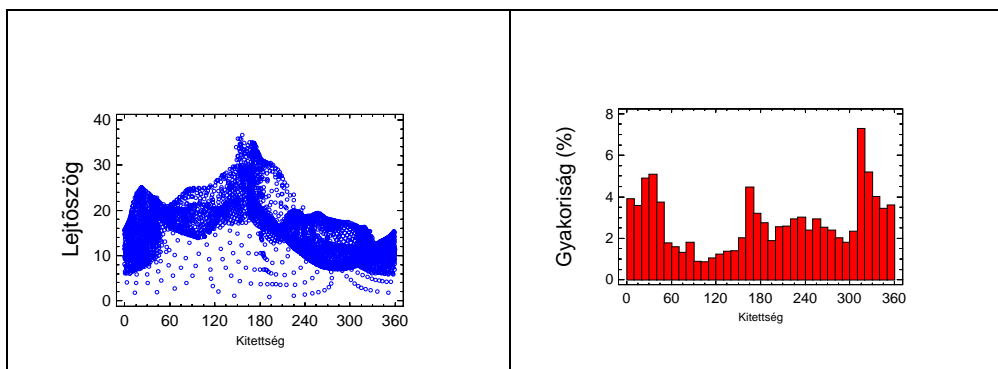
számított térfogatok eltérései a Cavalieri-módszerhez viszonyítva (%-ban) (Differences in calculated volumes as % of the value counted by the Cavalieri-method)				
Módszer neve	Térfogatszámítás módja (A: töbör alapterület, h: töbör mélység kivéve az Integrál ill. Cavalieri módszereknél)	1. dolina	2. dolina	3. dolina
Kúp (Cone)	$V = \frac{A \cdot h}{3}$	-15	-24	-16
Integrál (DDM) Integral (DEM)	$V = \int h(x, y) dx dy$ (h(x,y): a töbör mélységét megadó függvény)	-3	-4	-3
Cavalieri	$V = \int A(h) dh$ (A(h): a szintvonalak által bezárt terület a mélység függvényében)	0	0	0
Egyszerűsített gömbcsüveg (simplified calotte)	$V = \frac{A \cdot h}{2}$	28	14	26
Gömbcsüveg (Calotte)	$V = \frac{(3A + h^2) \cdot h}{6}$	29	14	26
Henger (Cylinder)	$V = A \cdot h$	156	128	151



5. ábra: Különböző töbörtérfogat-számítási módszerekkel kapott eredmények a 3 bükki töbör példáján
Fig 5: Doline volumes calculated by different formulae

Nyilvánvaló, hogy elvi szempontból az Integrál és a Cavalieri formula nyújtja a töbrök térfogatának legpontosabb meghatározását, de az összehasonlítás fényében egyben az is kiderül, hogy a töbrök térfogata melyik elméleti alakkal, egyszerűbb számítási eljárással fogalmazható meg hitelesebben. Ennek nagy mintán alapuló statisztikai vizsgálata azonban vélhetőleg nem azzal az eredménnyel jár majd, hogy egyetlen jó közelítést adó módszer kiválasztható lesz a többi közül, hanem a töbrögenetikával összefüggésben típusonként eltérő képlet használata lehet indokolt.

A töbrök különböző kitétségű lejtőinek eltérő fejlődése, az aszimmetriák dokumentálása is pontosabbá tehető a DDM-ek segítségével. A 6. ábra alapján megállapítható például, hogy az 1. számú töbr keleties kitétségű oldalai lényegesen meredekebbek, de emiatt kisebb területet (gyakoriságot) is jelentenek a töbr összterületén belül.



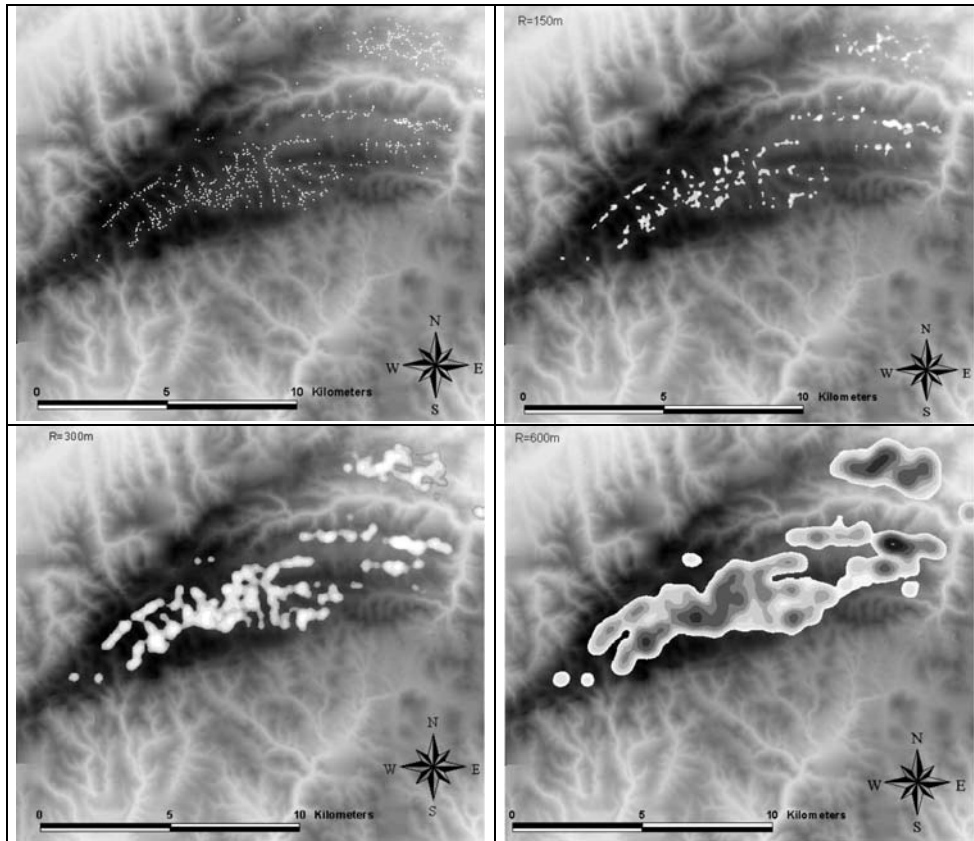
6. ábra: Az 1. töbr kitétségi viszonyainak ábrázolása grafikonon
Fig 6: Slope/Aspect and Aspect frequency diagrams of sample doline 1

Töbrök térbeli elhelyezkedésének vizsgálata domborzatmodell segítségével

Ez a fejezet – bár még mindig a töbrökkel foglalkozik – újra léptéket vált. A kérdés az, hogy a dolinák térbeli elhelyezkedését hogyan lehet kifejezően ábrázolni, illetve, hogy a területi elrendeződés milyen tényezőktől, hogyan függ. Ezekre a kérdésekre a bükki töbrök példáján keresünk választ. Ehhez a vizsgálathoz a Bükk DDM-jét 1:10000-es EOV térképek alapján készítettük el, majd a töbr-középpontok digitalizálása következett.

A töbrök elhelyezkedését, más pontszerű objektumokhoz hasonlóan, sűrűség-térképek segítségével igen szemléletesen lehet ábrázolni. Az ArcView szoftver felhasználásával ez a feladat megoldható, a sűrűség-értékek számításakor az ún. Kernel-algoritmust használtuk, ami lényegesen

jobb eredmény-térképekhez vezet. A számításokat különböző területegységekre (keresési sugárra) vonatkoztatva is elvégeztük.

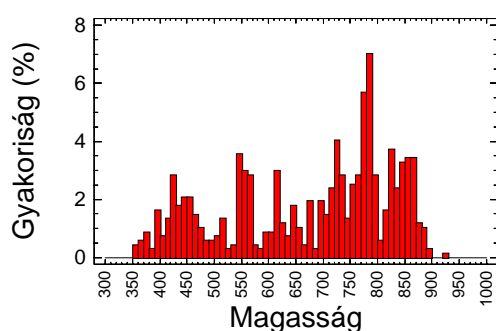


7. ábra: Töbör-sűrűségi térképek különböző keresési sugár (R) esetén a Bükk hegységben
 Fig 7: Doline density maps with different search radius (R) of the Bükk Mts.

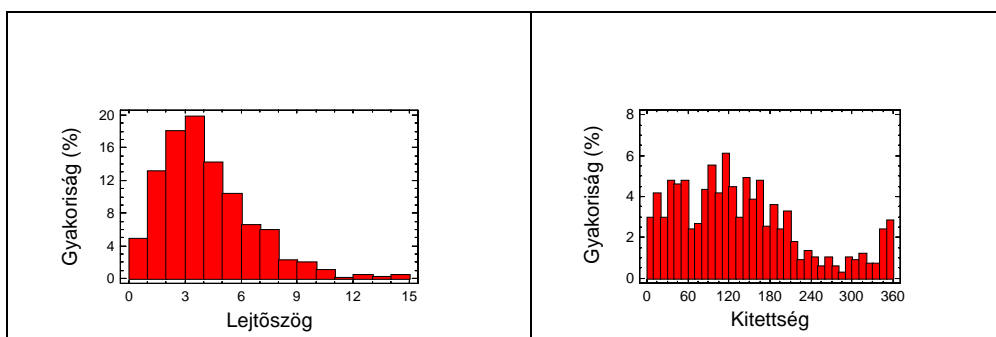
A 7. ábra jól mutatja, hogy a keresési sugártól függően mennyire eltérő jellegű következtetésekre ad módot a sűrűség-térkép. Kisebb sugár esetén kirajzolódnak a karsztos-nemkarsztos közethatárok, szerkezeti vonalak illetve a legnagyobb keresési sugárnál tulajdonképpen a Kis- és a Nagy-Fennsík jellemzően töbrös térszínei. Ezeket a térképeket például a geológiai térképpel egy rendszerbe integrálva további elemzések is végezhetők.

Következő lépésként a töbrök morfológiai elhelyezkedését próbáltuk jellemezni. A magasság szerinti hisztogrammon (8. ábra) a nagyobb gyakoriságú értékekből a fennsíkok vertikális tartománya ismerhető fel. Újabb kérdés, hogy milyen lejtőszög illetve kitettség viszonyok jellemzik a töbröket hordozó felszínt (tehát nem magát a töbröt). A DDM segítségével erre is választ kaphatunk: egy simító szűrő (pl. átlag) segítségével a kisebb formák

„elkenhető”, így ez az átalakított DDM alkalmas a feltett kérdés vizsgálatára. Az alábbiakban bemutatott ábrához egy 11x11-es (kb. 330*330m-es) átlagoló szűrőt alkalmaztunk. Az eredmények (9. ábra) azt mutatják, hogy a bükki töbrök zöme 2-4°-os lejtőn található és elenyésző a 10°-osnál meredekebb térszínen kialakult dolinák száma. Ezen kívül az is megállapítható, hogy a bükki töbrök java kelet felé ($\pm 90^\circ$) tekintő felszínbe mélyed. Ez a tény alapvetően a Nagy-fennsík enyhe, keleties lejtésére vezethető vissza.



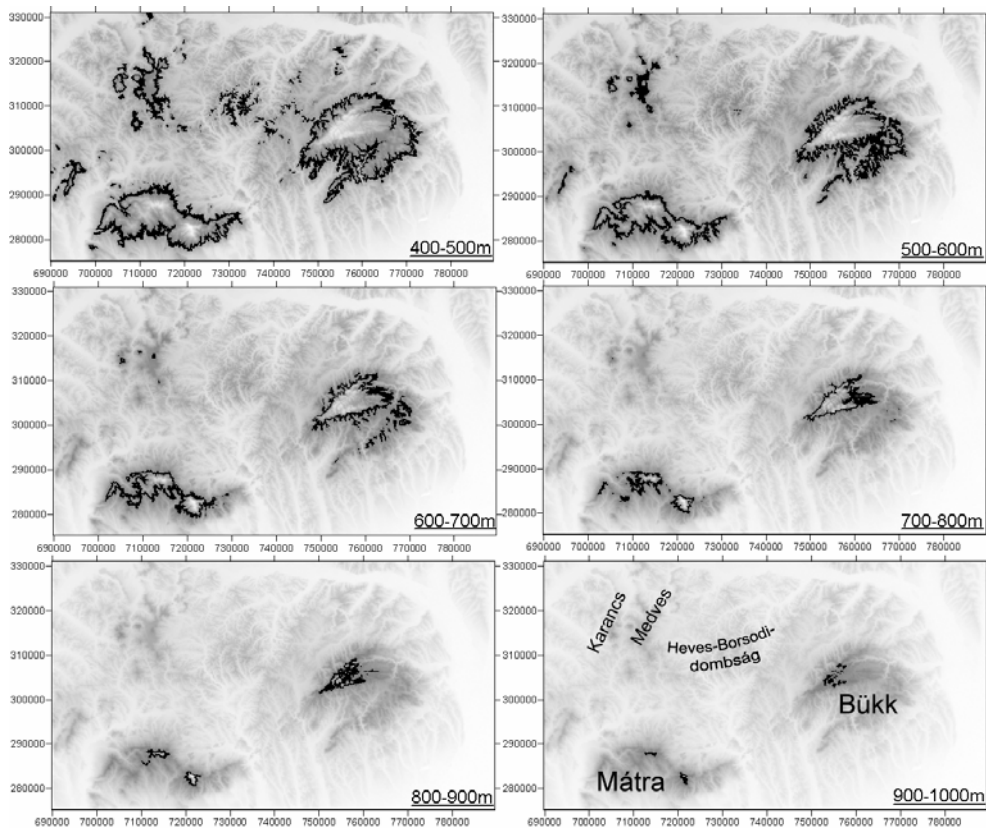
8. ábra: Bükki töbrök magasság szerinti elhelyezkedése
Fig 8: Doline elevation frequency (Bükk Mts.)



9. ábra: Bükki töbröket hordozó lejtők szöge és kitettsége szerinti hisztogramok
Fig 9: Slope and Aspect histograms of areas where the Bükk dolines were formed

Hegység léptékű domborzatmodellek összehasonlító értékelése

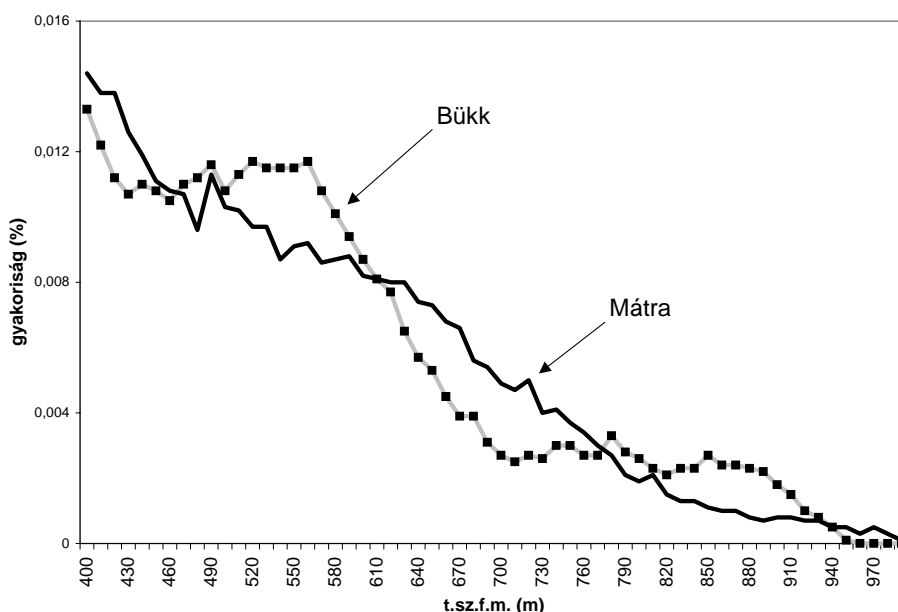
A karsztos hegységek nem csupán kis- és középformáikban térhetnek el a többi hegységtől, hanem domborzati nagyformáik is rendszerint sajátos arculatot mutatnak. Többek között a fennsíkok, poljék, a nagyobb területű zárt, lefolyástalan mélyedések megléte adja a jellegzetes eltéréseket. Ebből adódik az a kérdésfeltevés, hogy vajon ezek a különbségek, a lejtésviszonyok eltérései hogyan mutathatók ki a DDM segítségével.



10. ábra: A Bükk és a Mátra valamint a környező területek magassági övei 100 méterenként
 Fig 10: Vertical zones of the Bükk and Mátra Mts. and the neighbouring areas at 100m intervals

Ehhez a problémához példaként a Bükk és a Mátra összehasonlítását választottuk. A rendelkezésünkre álló adatbázis az SRTM volt, amely 90m-es felbontásával ehhez a vizsgálathoz megfelelő DDM-nek tekinthető. A NASA által kialakított, ingyenesen hozzáférhető SRTM-adatbázis a földfelszín nagy részének digitális domborzati adatait tartalmazza, melyet egy űrrepülőgépen elhelyezett radarrendszer segítségével hoztak létre (bővebb magyar nyelvű ismertetését ld. *TIMÁR et al, 2003*). A 10. ábrán a terület magassági öveit ábrázoltam térképen 100 méteres függőleges lépcsőnként. Ez az ábra az alábbi megfigyelésre ad módot: egy völgyekkel jól tagolt (nemkarsztos) hegységben (jelen esetben a Mátra) a magassági zónák felfelé haladva fokozatosan szűkülnek, így területük egyenletesen csökken, és gyűrűszerűen (azaz kb. egyenletes szélességben) zárják közre a magasabb térszíneket. Egy fennsíkokból álló (karsztos) hegységben (példánkban a Bükk) ezzel szemben a magassági övek néhol széles, viszonylag lapos térszíneket

foglalnak el (pl. a 700-800m közti övben a Nagy-fennsík keleti része, a 800-900m közti övben a Nagy-fennsík nyugati része), máskor pedig inkább szűkös, meredek területekre korlátozódnak. Így a magassági zónák területi kiterjedése felfelé haladva néha nem is csökken, máskor meg hirtelen fogyatkozik meg. Ezeket a vonásokat tükrözi finomabb felbontásban a magassági értékek gyakoriságából szerkesztett görbe is (11. ábra). Természetesen ez a jellegzetesség jelentkezik nemkarsztos eredetű fennsíkok, tönkfelszínek esetében is.



11. ábra A Bükk és a Mátra magassági értékeinek gyakorisága 90m-es felbontású DDM alapján
 Fig 11: Elevation frequency histograms of the Bükk and Mátra Mts, derived from a 90m resolution DEM

Következtetések

A DDM-ek elterjedése napjainkban új eszközt ad a karsztkutatók kezébe. Ezek segítségével a karsztos formakincs pontosabb jellemzésére nyílik lehetőség. A kisebb méretű jelenségek (karrok, töbrök) DDM-jének kialakításában előnyben részesítendő a terepi felmérések illetve – a töbrökre vonatkozóan – a nagy felbontású légifotók kiértékelésével nyert adatok. A makroformák jellemzéséhez jól használhatók a topográfiai térképek digitalizálásával nyert DDM-ek illetve a radarmérésekkel előállított SRTM adatbázis.

A DDM-ek alapján térfogatszámítások végezhetők a karros felszínekre, így a lepusztulás kérdéskörével kapcsolatban új adatokat nyerhetünk.

Ugyanígy a töbrök térfogatának pontos kiszámítása is a DDM-ek segítségével könnyen kivitelezhető. További kutatásokat igényel a széles körben elterjedt, ám egyszerűbb töbrötérfogat-számítási képletek pontosságának, esetleg a töbrö-genetikával való kapcsolatának megítélése. A töbrök DDM-je alapján pontos kép rajzolható egy töbrö kitétségi és lejtőszög viszonyairól, így ez a módszer kiegészítheti a dolina-aszimmetriával kapcsolatos témakör korábbi vizsgálatait (pl. *JAKUCS* 1971, *BÁRÁNY KEVEI* 1993).

A bükki töbrök térbeli elhelyezkedésének szemléltetésére töbrösűrűségi térképeket készítettünk különböző keresési sugárral. Ezen kívül a töbrök morfológiai helyzetének jellemzésére simított DDM-t használtunk, amelynek alapján megállapíthatók voltak a bükki töbröket hordozó felszín lejtésviszonyai.

A Mátra és a Bükk összehasonlításával bemutattuk, hogy egy fennsíkból álló (kiterjedt geomorfológiai szintekkel jellemezhető) hegység DDM-je és magassági hisztogramja milyen eltéréseket mutat egy völgyekkel felszabdalt hegységi területhez képest.

IRODALOM

- BÁRÁNY KEVEI I.* (1993): A study of the Karst-Ecological System on the Example of the Bükk Dolines. – *Acta Geogr. Szegediensis*, 31, p.15-20.
- DETREKŐI Á.-SZABÓ GY.* (1995): Bevezetés a térinformatikába. – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 250 p.
- FARSANG, A.-TÓTH, T.* (1993): Morphometric investigation of dolines in Bükk mountains. – *Acta Geographica Szegediensis*, 31, p. 53-60.
- GRUBER P.* (2003): Tájérténeti kutatások a Baradla-barlang vízgyűjtőjén. – *Karsztfejlődés VIII.*, Szombathely, p.243-252.
- HEVESI A.* (2001): A Nyugati-Mecsek felszíni karsztosodásának kérdései. – *Karsztfejlődés VI.*, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.103-112.
- JAKUCS L.* (1971): A karsztok morfogenetikája. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 310.p.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.-ZBORAY Z.* (2001): Karsztájak változásainak vizsgálata térinformatikai módszerekkel. – *Karsztfejlődés VI.*, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.45-59.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.-BOTOS CS.-BÓDIS K.* (2003): Erdő optimalizációs vizsgálatok az Aggteleki-Karszton – *Karsztfejlődés VIII.*, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.253-262.

- MARI L.* (2003): Felszínborítás-változás vizsgálata térinformatikai módszerekkel az Aggteleki Nemzeti Park területén. – *Karsztfejlődés VIII.*, Szombathely, p. 231-242.
- PÉNTEK K.-VERESS M.-SZUNYOGH G.* (2000): Karsztos formák matematikai leírása függvényekkel. – *Hidr. Közlöny*, 80/4, p.197-205.
- SZABÓ L.* (1998): Karsztos mélyedések morfológiai vizsgálata a Totes-Gebirgében. – *Karsztfejlődés II.*, BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.169-190.
- SZUNYOGH G.-LAKOTÁR K.-SZIGET I.* (1998): Nagy területet lefedő karrvályúrendszer struktúrájának elemzése. – *Karsztfejlődés II.*, BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.125-148.
- TELBISZ T.* (2003a): Karsztos felszínfejlődés és beszívargás matematikai modellezése – PhD-értekezés, Budapest, ELTE, Kézirat.
- TELBISZ T.* (2003b): Töbörfejlődési szimuláció elemzése lepusztulási idősorok és morfológiai mutatók alapján – in: *Karsztfejlődés VIII.*, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.51-80.
- TIMÁR G.-TELBISZ T.-SZÉKELY B.* (2003): Űrtechnológia a digitális domborzati modellezésben: az SRTM adatbázis – *Geodézia és Kartográfia*, 55/12, p.11-15.
- TÓTH G.-SCHLÄFFER R.* (2004): Karos felszín elemzése digitális módszerrel – *Karsztfejlődés IX.*, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 133-140.
- VERESS M.-BARNA J.* (1998): Karméanderek morfológiai térképezésének tapasztalatai. – *Karsztfejlődés II.*, BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.125-148.
- ZBORAY Z.-KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2004): Domborzatértékelés a Bükk-fennsíkon légifelvételek felhasználásával – *Karsztfejlődés IX.*, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely.