

Karsztos felszínformák vizsgálata digitális domborzatmodellek segítségével

Dr. Telbisz Tamás

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

Abstract

In the present paper, digital elevation models (DEMs) of karst landforms at different scales are presented (karren, dolines, karst mountains). The elevation data used to create the DEMs are from field analysis, high resolution topographic maps and SRTM, respectively. The karren and the doline DEMs are used here for volumetric calculations, and the karren DEM is used as input to a process-response model, too. The DEM representing a small part of Biokovo (Croatia) doline karst terrain is used for deducing doline area and doline watershed. The DEM of the Bükk Mts serves as a background for highlighting some aspects of the spatial distribution of dolines, and finally the differences between the karstic Bükk Mts and the volcanic Mátra Mts are evaluated by means of their DEM based on the SRTM.

Keywords: DEM, karst, doline, morphometric analysis

1. Bevezetés

A karsztos felszínformák vizsgálata alapvetően a geomorfológia tárgykörébe sorolható. Jóllehet a jelenségek széles köre ismert volt korábban is, a karsztok tudományos megismerését a XX. század elejétől (pl. CVIJC, 1918) szokás számítani. A karsztformák morfometriai jellemzése WILLIAMS (1971) munkája nyomán terjedt el, és azóta számos magyar kutató is alkalmazta ezt a módszert. A karsztos formakincs digitális domborzatmodellekkel (továbbiakban: DDM) történő értékelése alapvetően ezt az irányzatot folytatja, eddig azonban kevés publikáció született ebben a témakörben. A DDM-t ebben az összefüggésben egy eszköznek tartom, mely az alábbi célok elérését segítheti elő:

1. Bővíti a **morfometriai elemzések** eszköztárát, ami az egyes tájak, formák 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.
3. **Gondolatébresztő ábrázolások** révén hozzájárulhat a karsztokra vonatkozó tudásunk gyarapodásához.

Az alábbiakban néhány eltérő adatforrás alapján és különböző léptékben készült karsztos DDM kialakításának illetve elemzésének lehetőségeit ismertetem, a hangsúly ebben a cikkben az *eszközön* van és nem a részletes, karsztmorfológiai célú elemzéseken.

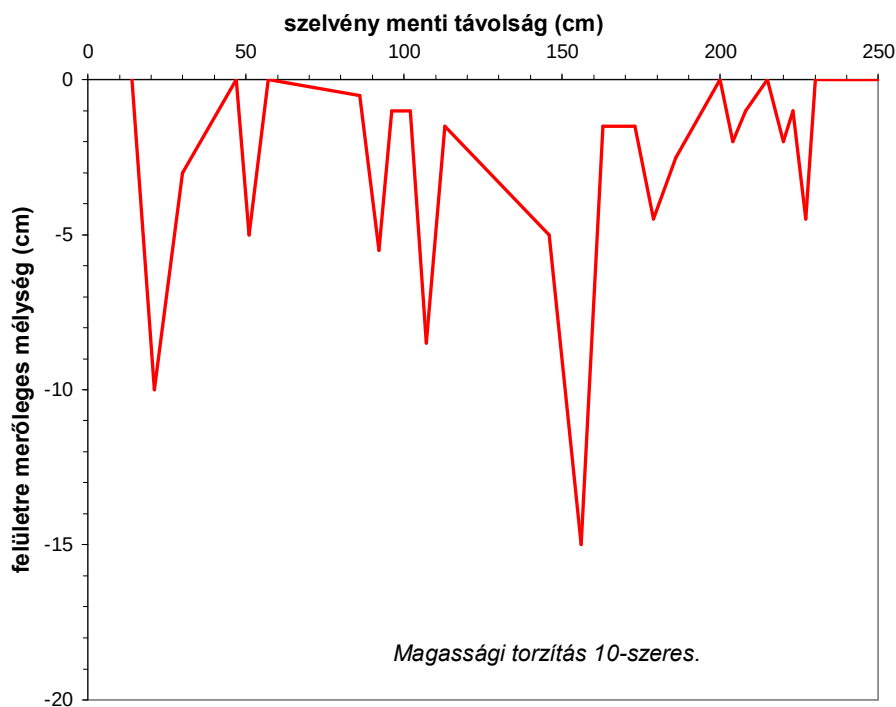
1. Az első típusú DDM **karrokról** készült, terepi felvételezés alapján.
2. A második típusú DDM a **töbrök** mérettartományát ábrázolja részletes topográfiai térképek alapján.
3. A harmadik típusú DDM **hegységnyi** méretű tájakat mutat be, topográfiai térképek, illetve radarmérések (SRTM) alapján.

2. Karrformák vizsgálata DDM-lel.

2.1. Karros térszínről készített DDM kialakítása

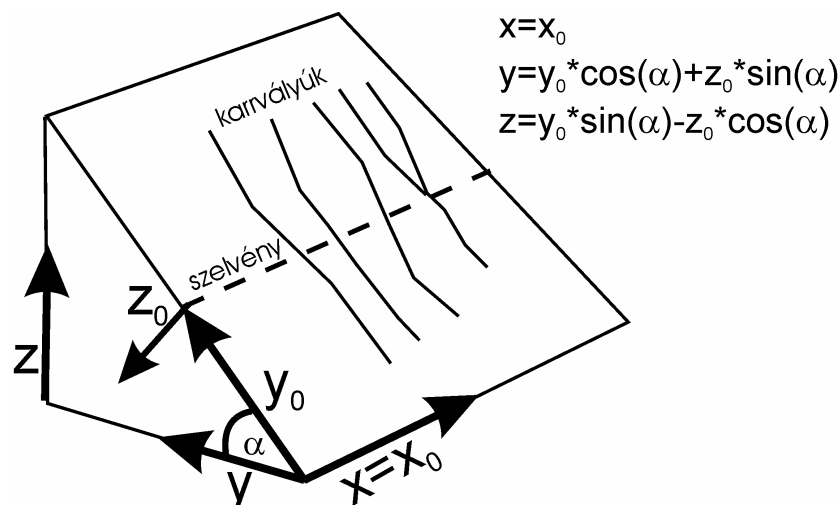
A karsztos felszínek oldásos kisformáiról, a karrokról számtalan morfológiai tanulmány ismeretes. Készültek már nagy felbontású karr-térképek is (pl. SZUNYOGH G. et al, 1998; VERESS M., BARNA J., 1998). Fénykép-alapú térinformatikai megközelítést mutat be TÓTH G., SCHLÄFFER R. (2004). Ezekhez képest azonban újfajta lehetőséget jelent a DDM-ek készítése karros felszínekről. A DDM alapján például kiszámítható a karrok térfogata, amely a lepusztulás egyfajta becslését adja (ld. 1. táblázat).

A karros DDM-ek létrehozásához az Északi-Mészkő-Alpokban gyűjtöttünk adatokat. Két helyszínen végeztünk méréseket: a Totes-Gebirgében (t.sz.f.m.: 1950 m) és a Dachstein-hegységben (t.sz.f.m.: 1700 m). 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 (1. ábra).



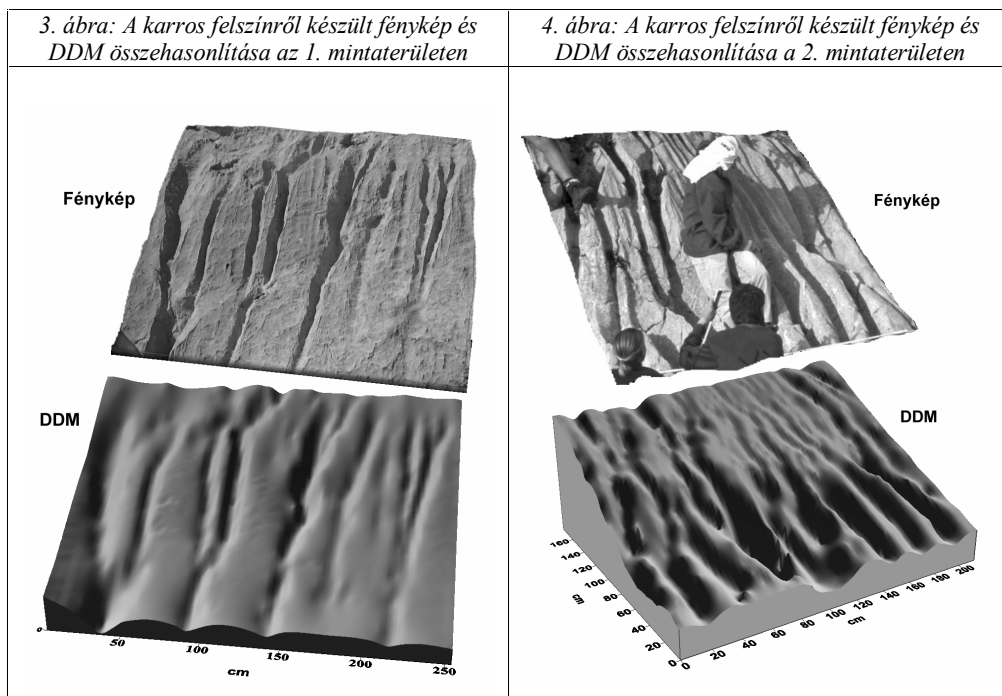
1. ábra: Karros lejtő egy tetszőlegesen kiválasztott szelvénye

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 a 2. ábra szerint átalakítottam (x,y,z) vízszintes ill. függőleges térkoordinátákká.



2. ábra: Karrok felmérési koordinátáinak konvertálása vízszintes ill. függőleges koordinátákká.

Az ily módon átalakított adathalmaz pontjait krigelés módszerrel interpolálva kaptam meg a szabályos vízszintes rácshálóra illeszkedő DDM-et. A krigelés akkor nyújtotta a legkielégítőbb eredményt, ha anizotrópiát tételeztem fel, mégpedig lejtőirányban. Ennek hátterében 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 3-4. ábrák mutatják. A vizuális összehasonlítás mellett a lepusztulással kapcsolatos számítások eredményeit mutatja be az 1. táblázat. Az interpoláció, a DDM ábrázolása és a számítások a *Surfer* program segítségével történtek.

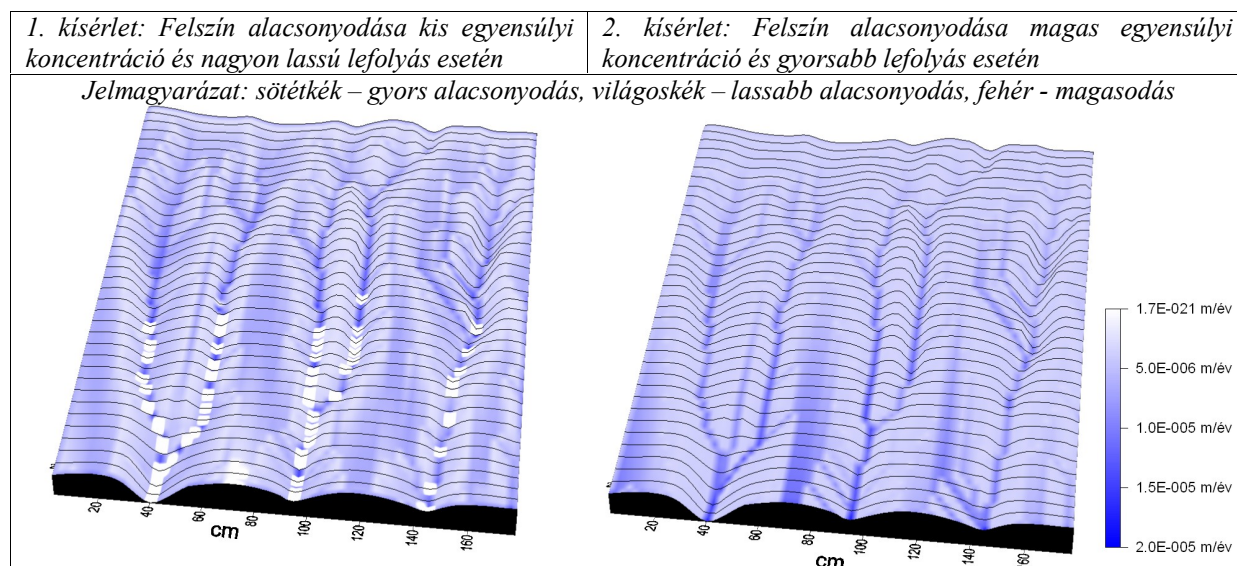


1. táblázat: Vályúkarros rétegfejek összehasonlítása DDM alapján

Helyszín	Alapterület (m ²)	Rétegfej síkja és a tényleges felszín különbségéből számított térfogat (cm ³)	Egységnyi területre jutó karros lepusztulás (cm)	Maximális karmélység (cm)
Totes-Gebirge	4,41	99 617	2,26	19
Dachstein	3,77	453 633	12,02	65

2.2. Karros lepusztulás szimulációja DDM alapján

Az elmúlt években kifejlesztettem egy karsztfejlődési modellt, amelynek részletes ismertetése korábbi publikációimban megtalálható (pl. TELBISZ T., 2003). Ez a felszín alakító különféle folyamatok – köztük hangsúlyosan a karsztos oldás – matematikai-fizikai modelljeit felhasználó ún. *process-response model*, amely elsősorban a hosszú időtávú töbörös felszínfejlődés szimulációs vizsgálatára készült (*VisualBasic* program segítségével). Kísérletképpen megvizsgáltam, hogy a karros DDM oldásos fejlődése hogyan szimulálható ezzel a modellel (5. ábra). Ehhez a totes-gebirgei DDM bal oldalát vágtam ki mintaterületnek (mert a szimulációs modell programjához négyzet alakú részre volt szükség). A szimulációs kísérletekben az egyensúlyi koncentrációt és a lefolyási sebességet változtattam. Az 5. ábráról megállapítható, hogy alacsony egyensúlyi koncentráció és lassú lefolyás esetén az oldás a sík lejtők, illetve a vályúk felső részén jelentős, míg az alsóbb részekben alárendelt a pusztulás és kicsapódás is előfordulhat (fehér foltok). Magas egyensúlyi koncentráció és gyorsabb lefolyás esetén a vályútalpak oldódása illetve a sík felületek alsó részei mélyülnek jobban. Így a paraméterek ismeretében a karsztos formakincs továbbfejlődése megállapítható. Ez a kísérlet jelen formájában csak egy első megközelítés, egy lehetőség illusztrációja volt, így a paraméterek és az eredmények közti összefüggések alapos elemzése még hosszabb kutatómunkát igényel.

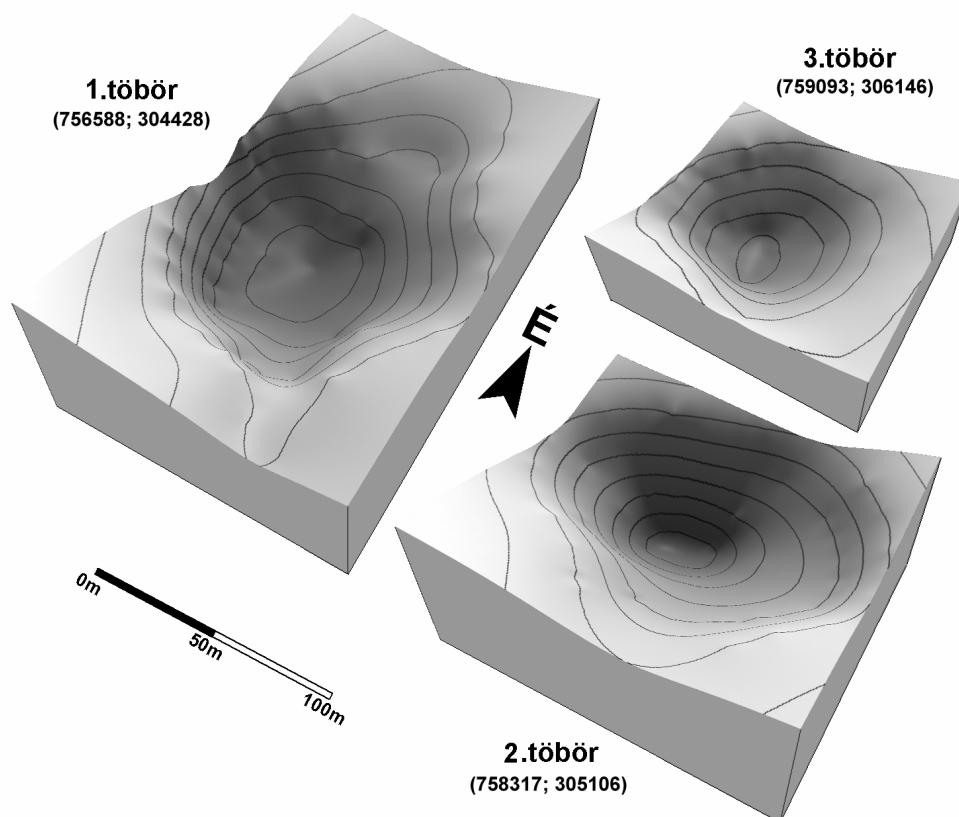


5. ábra: Karros felszínfejlődési szimuláció valós DDM alapján

3. Digitális töbrömodellek értékelése

3.1. Töbrök térfogatszámítása

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 A., 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 támaszkodni (pl. PÉNTEK et al, 2000; FARSANG A., TÓTH T., 1993) vagy nagy felbontású légi felvételekre (ZBORAY Z., KEVEINÉ BÁRÁNYI I., 2004). Mivel nekem nem álltak rendelkezésemre ilyen adatok, ezért a töbrök módszertani célú DDM-vizsgálatához 3 olyan bükki (nagy-fennsíki) töbröt választottam ki, amelyeket legalább 5 zárt szintvonal (segédszintvonalakkal együtt) jelzett a térképen. A DDM kialakítása ez esetben egyszerű volt: szintvonalak digitalizálása és interpoláció (6. ábra). A további számításokban a legkülső zárt szintvonallal definiáltam a töbrök peremét.



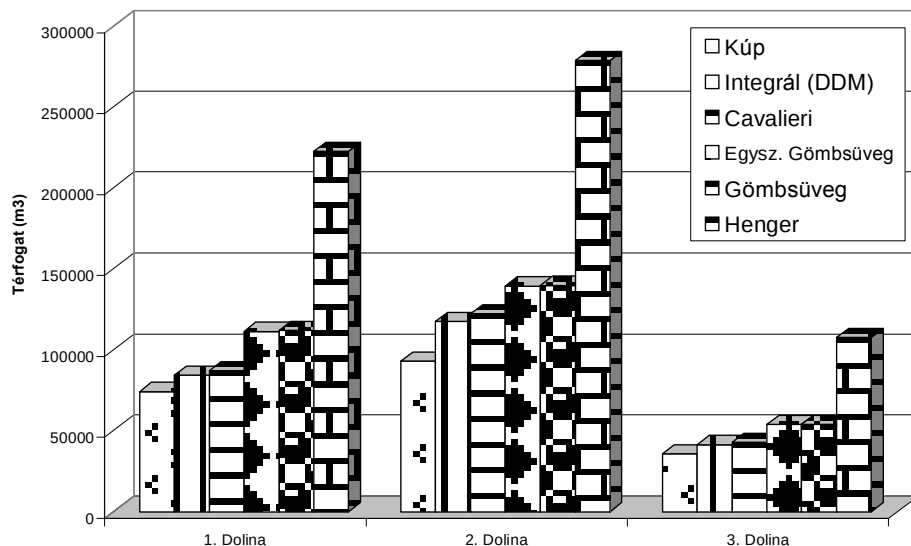
6. ábra: 3 bükki dolina DDM-je (zárójelben az EOV koordináták)

A karsztos területek lepusztulásának jellemzésében fontos tényező lehet a töbrök térfogatának meghatározása. Az általam kiválasztott 3 töbör példáján a különböző töbrötérfogat-számítási módszereket kívánom bemutatni. A korábban alkalmazott,

egyszerűbben számolható eljárások és a DDM segítségével kivitelezhető műveletek képleteit illetve eredményeit mutatja a 2. táblázat és a 7. ábra.

2. táblázat: Töbörtérfogat-számítási eljárások és az általuk szolgáltatott eredmények eltérései a 3 bükki dolina példáján

Számított térfogatok eltérései a Cavalieri-módszerhez viszonyítva (%-ban)				
Módszer neve	Térfogatszámítás módja (A: töbör alapterület, h: töbör mélység kivéve az Integrál ill. Cavalieri módszereknél)	1. Dolina	2. Dolina	3. Dolina
Kúp	$V = \frac{A \cdot h}{3}$	-15	-24	-16
Integrál (DDM)	$V = \int h(x, y) dx dy$ (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	$V = \frac{A \cdot h}{2}$	28	14	26
Gömbcsüveg	$V = \frac{(3A + h^2) \cdot h}{6}$	29	14	26
Henger	$V = A \cdot h$	156	128	151

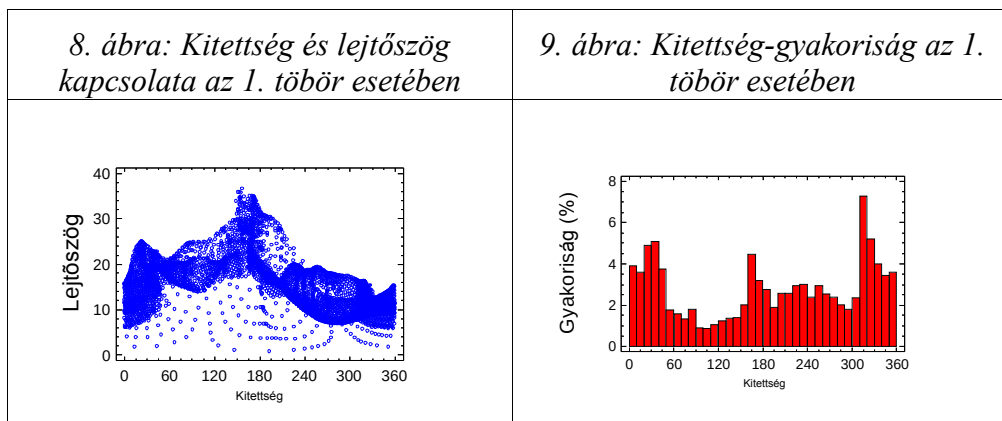


7. ábra: Különböző töbörtérfogat-számítási módszerekkel kapott eredmények a 3 bükki töbör példáján

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 töbör-genetikával összefüggésben típusonként eltérő képlet használata lehet indokolt.

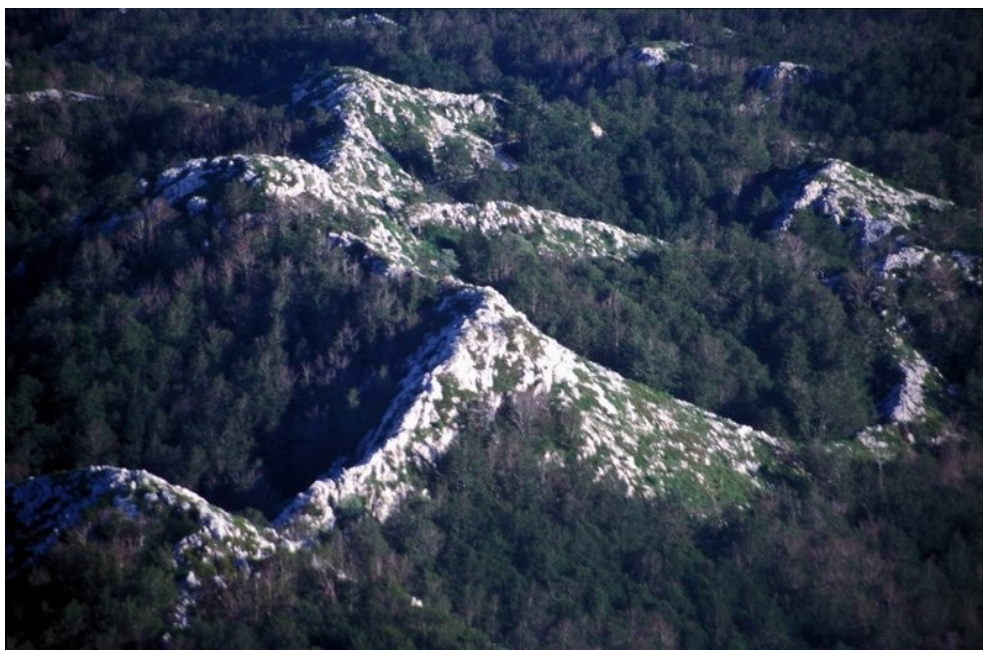
3.2. Töbör-aszimmetria vizsgálata

A töbrök különböző kitettségi lejtőinek eltérő fejlődése, az aszimmetriák dokumentálása is pontosabbá tehető a DDM-ek segítségével. A 8-9. ábra alapján megállapítható például, hogy az 1. számú töbör keleties kitettségi oldalai lényegesen meredekebbek, de emiatt kisebb területet (gyakoriságot) is jelentenek a töbör összterületén belül.



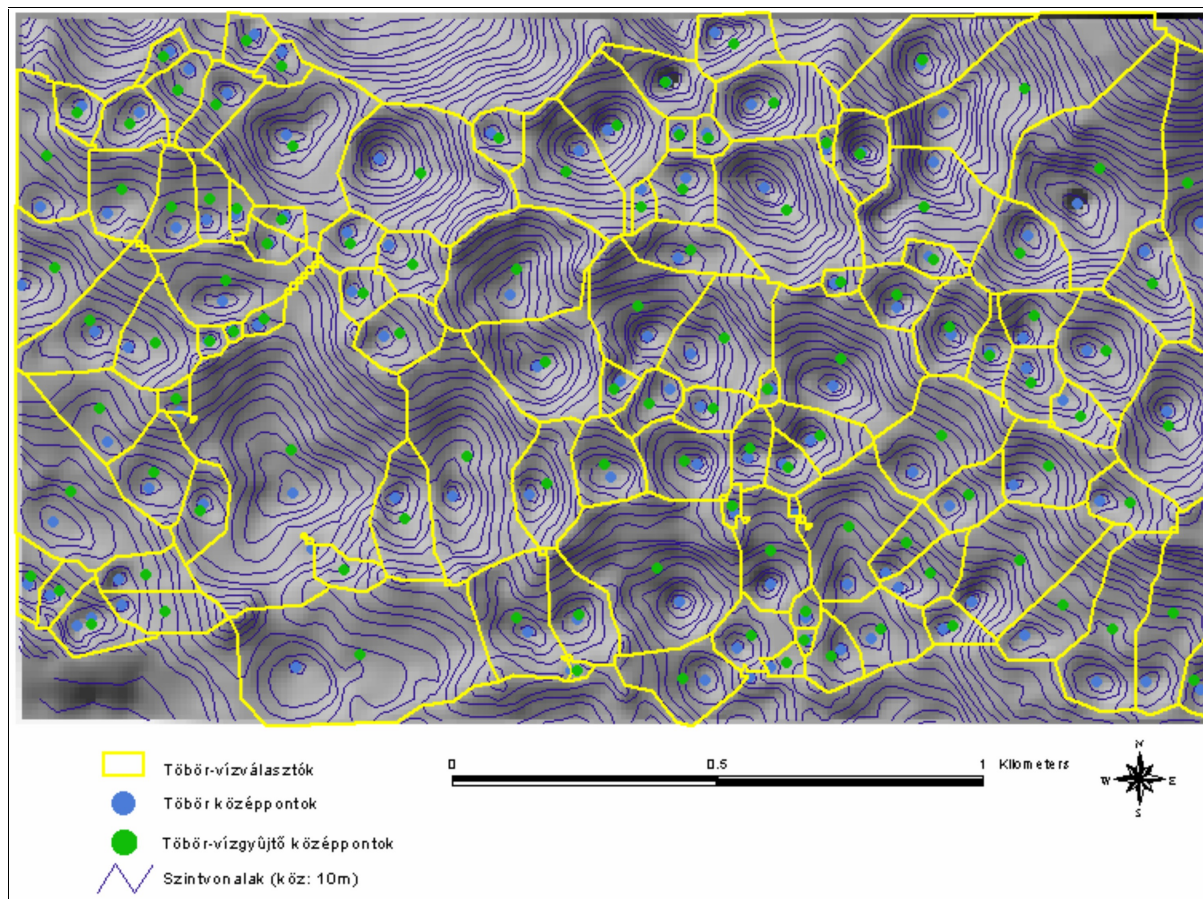
3.3. Töbör és vízgyűjtője

A DDM alapján egy nagyobb terület töbreiről is átfogó képet nyerhetünk, és végeredményben a töbrök alakja, illetve a hozzájuk tartozó vízgyűjtő is levezethető. Ennek szemléltetésére a horvátországi Biokovo-hegység karsztos fennsíkjának egy $\sim 3 \text{ km}^2$ kiterjedésű részletét választottam (1. fénykép). Ezt a területet igen nagy sűrűségben (44 db/km^2) borítják a többnyire mély töbrök. Amint a fényképen is megfigyelhető, hazai karszterületeinktől eltérően ezen az intenzíven karsztosodott fennsíkon a töbröközi gerincek, csúcsok határozzák meg a táj képét.



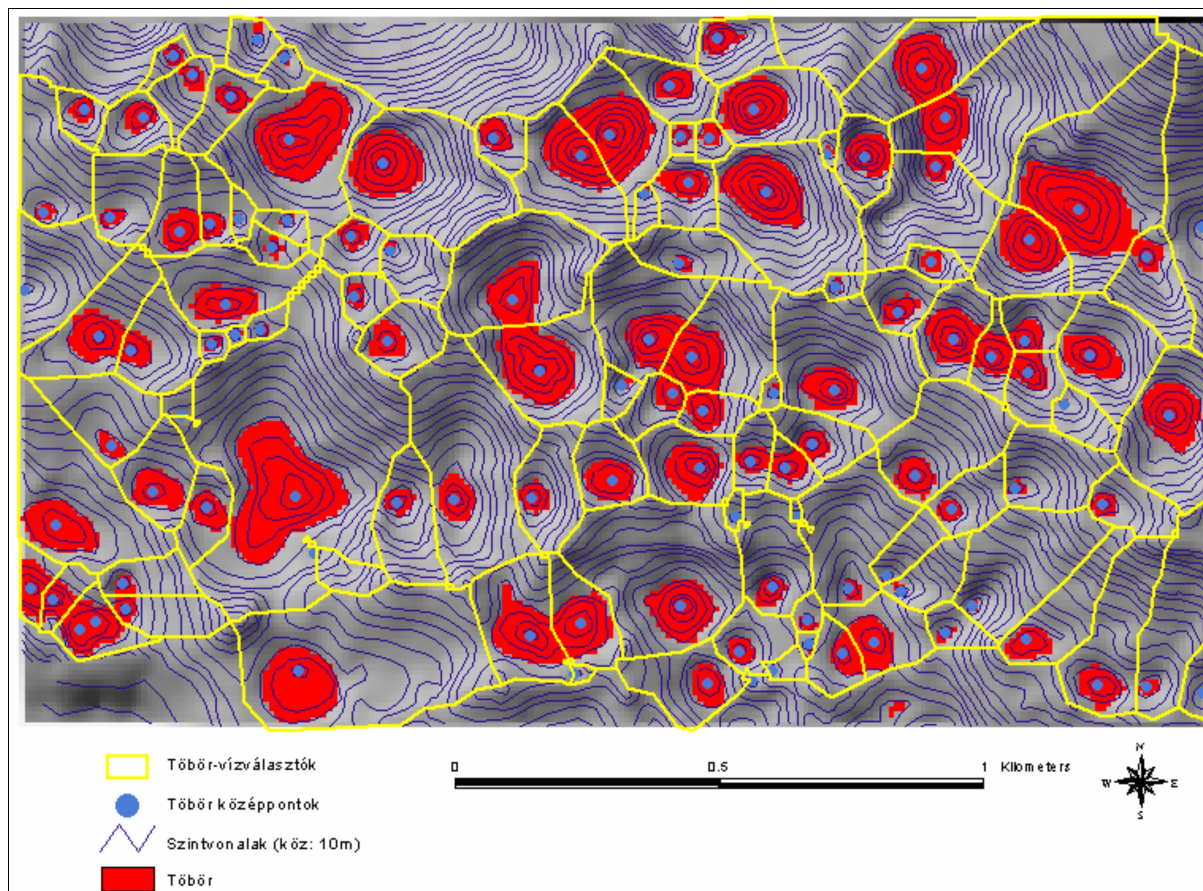
1. fénykép: Töbröközi vízválasztók a Biokovo-hegységben

Ezúttal a rendelkezésre álló alaptérkép egy 1:25000 méretarányú, 10m-es szintvonalközü térkép volt, melyet terepbejárással ellenőriztünk. A szintvonalak és a töbrök középpontok digitalizálása után az *Arcview* szoftver segítségével a vízgyűjtő-területek illetve vízválasztók hozzárendelhetők az egyes megadott töbrök középpontokhoz (10. ábra). Véleményem szerint a vizsgált területen morfológiai, felszínfejlődési szempontból ezek adják meg a töbrök igazi határait. Az így lehatárolt formák azonban jelentős lejtő-részleteket is magukba foglalnak, többnyire aszimmetrikus elhelyezkedésben, ami kitűnik akkor, ha a DDM-ből levezetjük a vízgyűjtők geometriai középpontjait (10. ábra). Ebből kiderül, hogy a töbrök legmélyebb (potenciális víznyelő) pontjai mennyire excentrikusan helyezkednek el.



10. ábra: Töbrök-középpontokhoz tartozó vízgyűjtőterületek és ezek geometriai középpontjai (Biokovo)

A hagyományos definíció szerinti töbrök is levezethetők a DDM-ből. A legkülső zárt szintvonal végeredményben a töbrök körüli vízválasztó legalacsonyabb pontjának síkját jelöli ki. Az *Arcview* hidrológiai modulja segítségével a domborzatmodell mélyedései kitölthetők (*Fill DEM*), és a kitöltött illetve az eredeti domborzatmodell különbsége alapján a töbrök előállíthatók a DDM-ből (11. ábra). Ez a szűkebb értelemben vett töbrőalak a vízgyűjtők alsó részét tölti ki, és az ábráról is láthatóan a középpontok jóval centrikusabb helyzetet foglalnak el. Összességében ezek a töbrök a teljes vízgyűjtőnek csak 20,1%-át foglalják el, ami a lepusztulásban játszott szerepüket nyilvánvalóan nem hangsúlyozza ki kellőképpen.



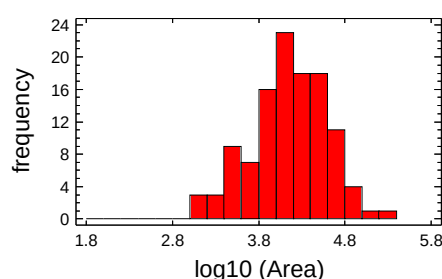
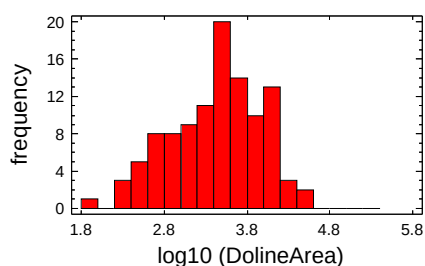
11. ábra: DDM-ből levezetett töbrök (Biokovo)

A töbrök méretei szintén meghatározhatók a DDM alapján, ami segíthet a statisztikai érvényű morfológiai jellegzetességek vizsgálatában. A területek alapján szerkesztett hisztogramok azt mutatják, hogy akár a szűkebb értelemben vett töbör-területeket (12. ábra) tekintjük, akár a teljes vízgyűjtőket (13. ábra), az eloszlás lognormális jelleget mutat, ami összhangban áll például az Aggteleki-karsztra vonatkozó korábbi morфомetriai vizsgálatok eredményeivel (TELBI SZ T., 2001).

12. ábra: Töbör-területek gyakorisági eloszlása egy kiválasztott területen (Biokovo)

13. ábra: Töbörvízgyűjtő-területek gyakorisági eloszlása egy kiválasztott területen (Biokovo)

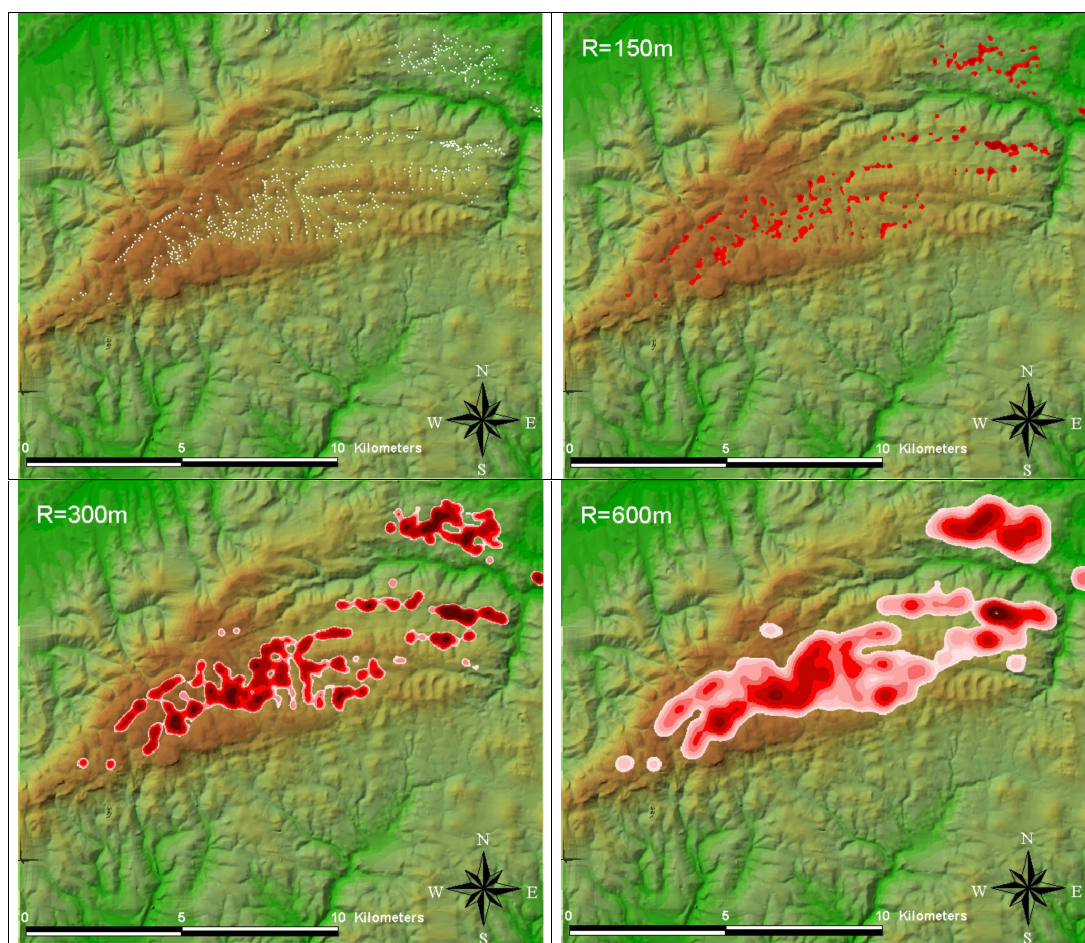
A vízszintes tengelyen a terület logaritmusa szerepel. Függőleges tengelyen a gyakoriság.



3.4. Töbör-sűrűség illetve meghatározó domborzati tényezők

A karsztmorfológia érdeklődési körébe tartozik, hogy a dolinák térbeli elhelyezkedését hogyan lehet kifejezően ábrázolni, illetve, hogy a területi elrendeződés milyen tényezőktől, hogyan függ. Ehhez a vizsgálathoz a Bükk DDM-jét 1:10000-es EOVS térképek alapján készítettem el, majd a töbör-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 használtam, ami lényegesen jobb eredmény-térképekhez vezet. Ez az algoritmus egy „valódi pont” helyett koncentrikus eloszlással reprezentálja a pontokat, így a sűrűség-térkép „simább” képet mutat. A számításokat különböző területegységekre (keresési sugárra) vonatkoztatva is elvégeztem.

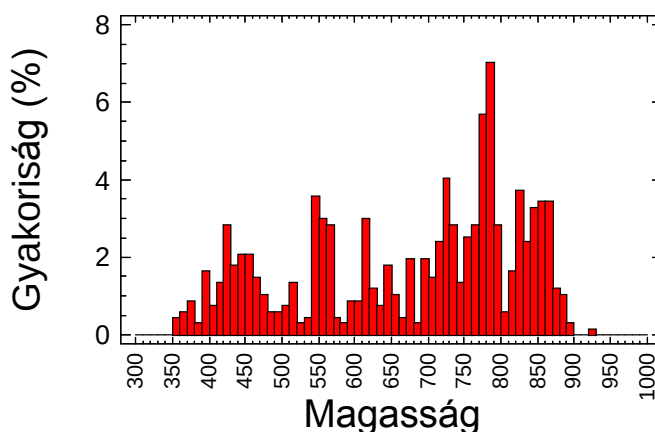


14. ábra: Töbör-sűrűségi térképek különböző keresési sugár (R) esetén a Bükk hegységben

A 14. ábra jól mutatja, hogy a keresési sugártól függően mennyire eltérő jellegű következtetésekre ad módot a sűrűség-térkép. Kisebb sugár esetén kirajzolódnak a karsztos-nemkarsztos közhatárok, 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.

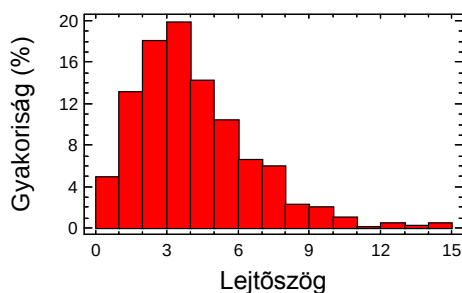
Következő lépésként a töbrök morfológiai elhelyezkedését próbáltam jellemezni. A magasság szerinti hisztogrammon (15. ábra) a nagyobb gyakoriságú értékekből a fennsíkok

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 „elkenhetők”, így ez az átalakított DDM alkalmas a feltett kérdés vizsgálatára. Az alábbiakban bemutatott ábrákhoz egy 11x11-es (330*330m-es) átlagoló szűrőt alkalmaztam. Az eredmények (16-17. 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.

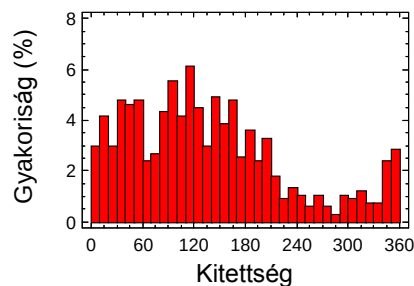


15. ábra: Bükki töbrök magasság szerinti elhelyezkedése

16. ábra: Bükki töbröket hordozó lejtők szöge szerinti hisztogram

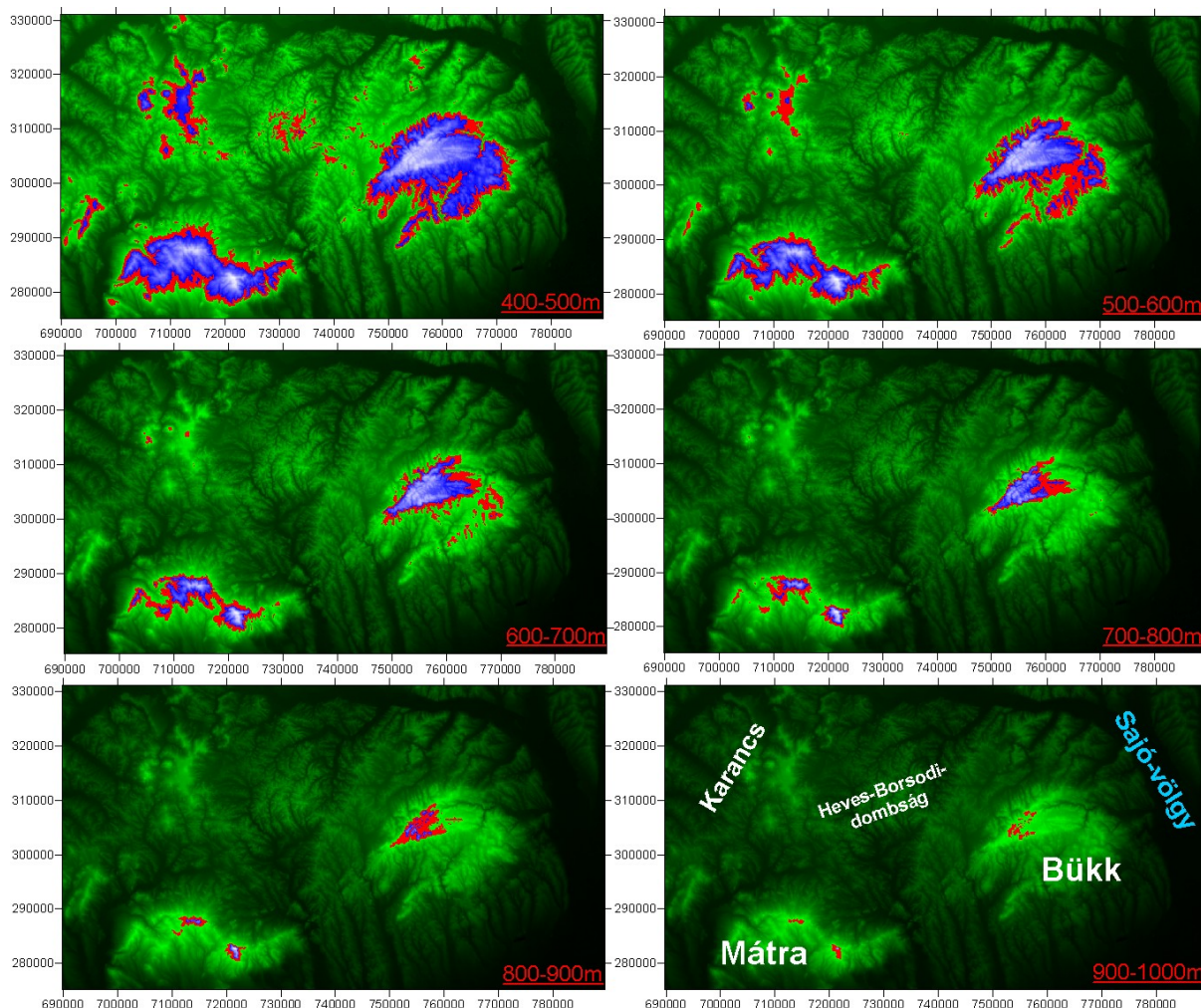


17. ábra: Bükki töbröket hordozó lejtők kitettsége szerinti hisztogram



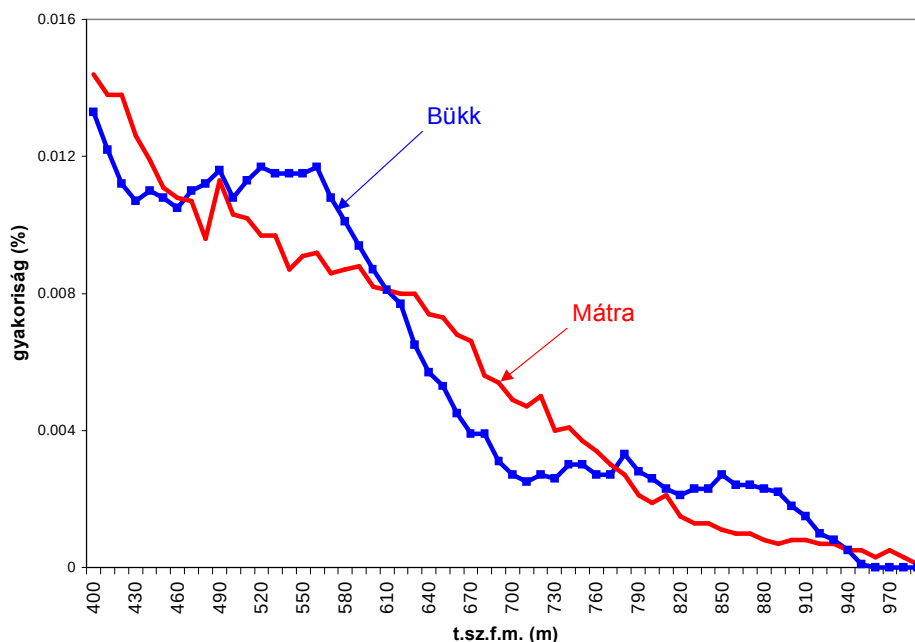
4. Hegység léptékű domborzatmodellek összehasonlító értékelése

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 meglete adja a jellegzetes eltéréseket. Ebből adódik az a kérdésfeltevés, hogy vajon ezek a különbségek, a lejtésviszonyok eltérései hogyan mutathatók ki a DDM segítségével.



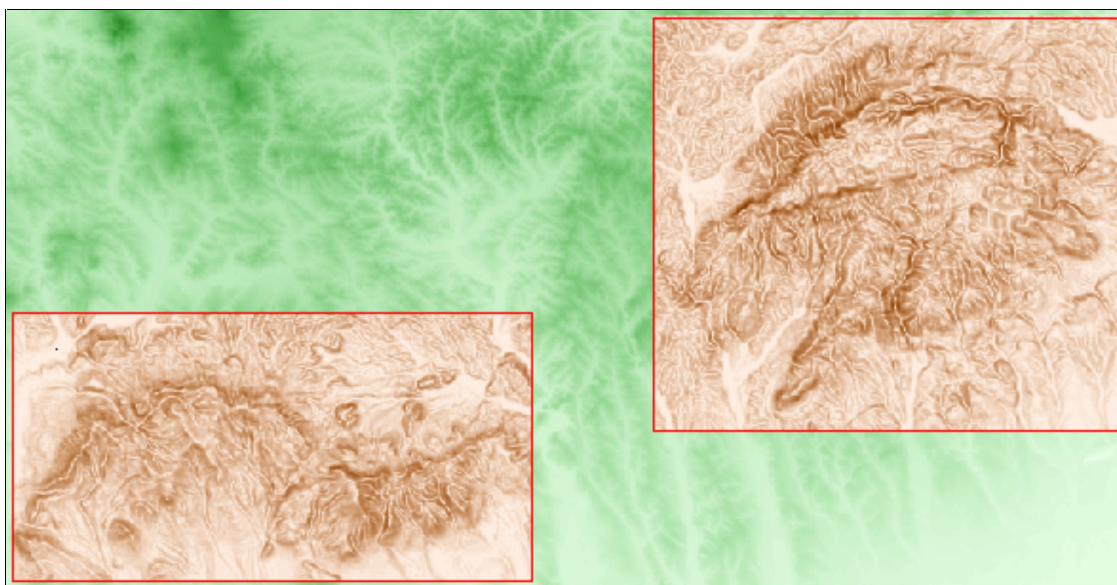
18. ábra: A Bükk és a Mátra valamint a környező területek magassági övei 100 méterenként (pirossal jelölve)

Ehhez a problémához példaként a Bükk és a Mátra összehasonlítását választottam. A rendelkezésemre álló adatbázis az SRTM volt, amely 90m-es felbontásával ehhez a vizsgálathoz megfelelő DDM-nek tekinthető (Az SRTM ismertetése: pl. TIMÁR et al, 2003.). A 18. 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 fennsíkokról 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 (13. ábra). Természetesen ez a jellegzetesség jelentkezhet nemkarsztos eredetű fennsíkok, tönkfelszínek esetében is.

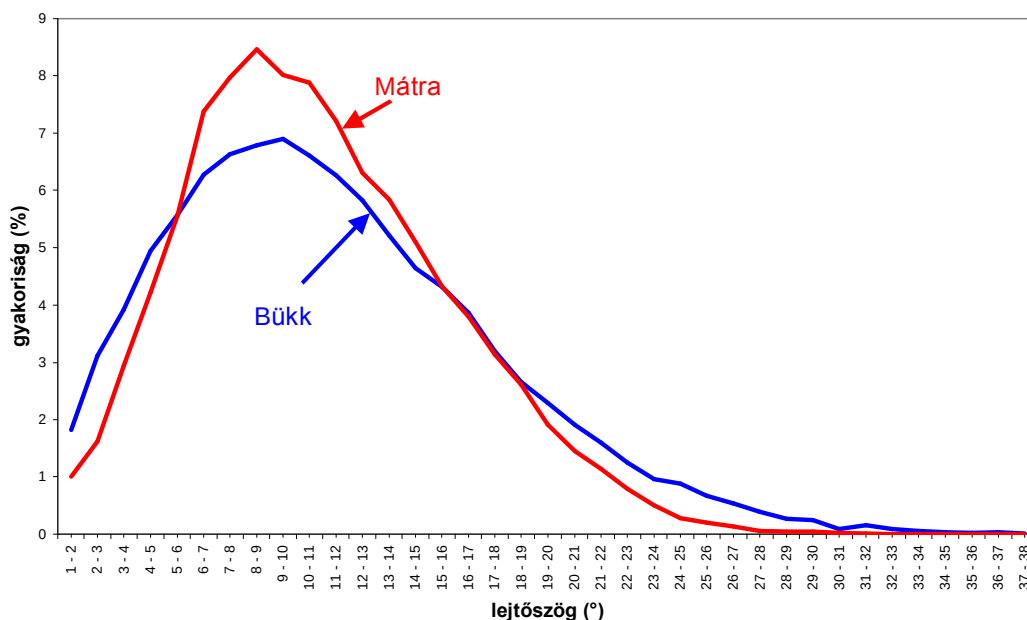


19. ábra A Bükk és a Mátra magassági értékeinek gyakorisága 90m-es felbontású DDM alapján (400m-nél magasabb térszínekre)

A fennsíkok kiterjedt térszíneit – jelentésének megfelelően – kis lejtőszög, a peremeket pedig a geomorfológiai szempontból ellenálló mészkőből kialakult sziklafalak miatt nagyobb lejtőszögek jellemzik. Ezt a különbséget értelemszerűen a lejtőszög-térképnek illetve a lejtőszög-gyakoriság diagramnak is tükröznie kell, amit a 20. és 21. ábra igazol, amelyről leolvasható, hogy a Bükkben viszonylagosan több van a legkisebb lejtőszögű illetve a legnagyobb lejtőszögű kategóriákból.



20. ábra: A Bükk és a Mátra lejtőszög-térképe



21. ábra: A Bükk és a Mátra lejtőszög értékeinek gyakorisága 90m-es felbontású DDM alapján (400m-nél magasabb térszínekre)

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 L., 1971, BÁRÁNY KEVEI I., 1993). A DDM alapján meghatározhatók a „legkülső zárt szintvonal” elve szerint definiált töbrök illetve levezethetők a töbrökhöz tartozó vízgyűjtő-területek is.

A bükki töbrök térbeli elhelyezkedésének szemléltetésére töbrö-sűrűségi térképeket készítettem különböző keresési sugárral. Ezen kívül a töbrök morfológiai helyzetének jellemzésére simított DDM-t használtam, amelynek alapján megállapíthatók voltak a bükki töbröket hordozó felszínek lejtésviszonyai.

A Mátra és a Bükk összehasonlításával bemutattam, hogy egy fennsíkokból álló (kiterjedt geomorfológiai szintekkel jellemezhető) hegység DDM-je és magassági illetve lejtőszög 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, pp.15-20.
- CVJIČ, J., 1918: Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst. – *Rec. Trav. Inst. Geogr. Alpine*, 6(4), pp.375-426.
- FARSANG, A., TÓTH, T., 1993: Morphometric investigation of dolines in Bükk mountains. – *Acta Geographica Szegediensis*, 31, pp. 53-60.
- HEVESI A., 2001: A Nyugati-Mecsek felszíni karsztosodásának kérdései. – *Karsztfejlődés VI.*, Szombathely, pp.103-112.
- JAKUCS L., 1971: A karsztok morfogenetikája. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 310.p.
- PÉNTÉK K., VERESS M. és SZUNYOGH G., 2000: Karsztos formák matematikai leírása függvényekkel. – *Hidr. Közlöny*, 80/4, pp.197-205.
- SZUNYOGH G., LAKOTÁR K. és SZIGET I., 1998: Nagy területet lefedő karrvályúrendszer struktúrájának elemzése. – *Karsztfejlődés II.*, Szombathely, pp.125-148.
- TELBISZ T., 2001: Új megközelítések a töbör-morfológiában az Aggteleki-karszt példáján. – *Földrajzi Közlemények*, 125 (49) / 1-2, pp. 95-108.
- TELBISZ T., 2003: Töbörfejlődési szimuláció elemzése lepusztulási idősorok és morfometriai mutatók alapján – in: *Karsztfejlődés VIII.*, Szombathely, pp.51-80.
- TIMÁR G., TELBISZ T., és SZÉKELY B., 2003: Űrtechnológia a digitális domborzati modellezésben: az SRTM adatbázis – *Geodézia és Kartográfia*, 55/12, pp.11-15.
- TÓTH G., SCHLÄFFER R., 2004: Karros felszín elemzése digitális módszerrel – *Karsztfejlődés IX.*, Szombathely.
- VERESS M., BARNA J., 1998: Karméanderek morfológiai térképezésének tapasztalatai. – *Karsztfejlődés II.*, Szombathely, pp.125-148.
- WILLIAMS, P.W., 1971: Illustrating morphometric analysis of karst with examples from New Guinea. – *Z. Geomorph.*, 15/1, pp.40-61.
- ZBORAY Z., KEVEINÉ BÁRÁNY I., 2004: Domborzatértékelés a Bükk-fennsíkon légifelvételek felhasználásával – *Karsztfejlődés IX.*, Szombathely.