

Digitális domborzatelemzési módszerek alkalmazása karsztos területek geomorfológiai térképezésében

Telbisz Tamás

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

Abstract

The present paper discusses the quality of DEM-derived geomorphological maps on karst areas. GIS-methods are given to derive the following landforms: summit, ridge, hillslope, valley, doline, uvala, saddle. Four sample areas are used to test these methods: Jósavető plateau and Plesivska Planina in the Gömör-Torna karst (NE-Hungary and SE-Slovakia), Bükk Mts (Hungary) and Biokovo Mts (Croatia). Different DEM-scales are used with 10 m, 20 m and 90 m horizontal resolution created from 1:10,000 and 1:25,000 scale topographic maps and SRTM, respectively. DEM-derived maps are compared with hand-edited geomorphological maps and it is concluded that there is a good agreement between these maps. Nonetheless, small-scale landforms can not be detected from topographic maps and DEMs only but still require field reconnaissance.

Bevezetés

A geomorfológiai térképek egy terület felszínformáit, felszínalakító folyamatait, továbbá a kő és a litológiát mutatják be (MEZŐSI, 1993). A klasszikus geomorfológiai térképek megjelenése az összetett tartalom miatt gyakran túlsúlyos, így a publikációkban számos esetben egyszerűsített geomorfológiai térképekkel (térkép vázlatokkal) találkozhatunk, amelyek ennél fogva könnyebben értelmezhetők és sokszor jobban kifejezik a felszín karakterét. E térképek elsősorban magukat a felszínformákat mutatják be, ami tulajdonképpen a domborzat értelmezésén alapul, így az információ tetemes része végsősoron már „benn van” a szintvonalas térképben illetve a domborzatmodellben.

Amennyiben a formák lehatárolását szabályokkal kíséreljük meg körülírni, akkor a morfometrikus mutatók kiszámítása jó kiindulópont lehet. E gondolat egyik korai felvetője HAMMOND (1964) volt. Ő abból indult ki, hogy a kis méretarányú térképek szokásos domborzatábrázolása nem elég kifejező. A széleskörűen használt magasság szerinti színfokozatos ábrázolás ugyanis nem adja vissza a felszín jellegét, hiszen egy nagy tengerszint feletti magasságú fennsík és egy völgyekkel szabdaltságot magashegység ezen ábrázolásmód mellett kis méretarányban nem különböztethető meg (Ez a probléma egyébként sokkal markánsabban jelentkezik Észak-Amerikában, mint Európában, nem véletlen tehát, hogy a felvetés az előbbi kontinensről származik). Ezért javasolta tehát azt, hogy a kontinensléptékű domborzati térképeket morfometrikus mutatók alapján kéne megszerkeszteni. Az ő megközelítésében a következő tényezők szerepeltek: relatív relief, sík térszínének aránya a területből ill. sík térszínének helyzete a magassági eloszlásban (ez utóbbi paraméter segít elkülöníteni például a szigethegységekkel tagolt alacsony síkságot a szurdokokkal szabdaltságot magashegységtől).

Hammond korában természetesen ezek a számítások meglehetősen időigényes és csak korlátozott pontossággal kivitelezhető műveletek voltak. A digitális domborzatmodellek (továbbiakban: DDM) elterjedését követően kézenfekvő volt a lehetőség, hogy a felszínt ez alapján megpróbálják osztályozni, formáit lehatárolni, mind kis, mind nagy méretarányban. (pl. DIKAU, 1989; WILSON, GALLANT, 2000; BOLOGNARO-CREVENNA et al, 2005; DRAGUT, BLASCHKE, 2006 stb.). Hazánkban HEGEDŰS A. (2004) tett kísérletet arra, hogy nagy méretarányú geomorfológiai térképet készítsen digitális domborzatmodell alapján. Napjainkban már akadnak olyan kiegészítő programok is a térinformatikai szoftverekhez, melyek közvetlenül támogatják a geomorfológiai térképek levezetését (pl. Topographic Position Index: JENNESS, 2006)

Az alábbiakban néhány karsztos mintaterület esetében vizsgálom meg, hogy a digitális domborzatmodellből milyen színvonalú geomorfológiai térképet lehet levezetni. Ezért néhány olyan karsztos felszínalaktani térképet kísérek meg „leutánozni”, melyeket a karsztkutatás hazai, elismert szakemberei készítettek a közelmúltban (HEVESI, 2002; MÓGA, 1998). A hangsúly tehát ez esetben elsősorban az utánzásban van, így az egyes paraméterek küszöbértékeinek meghatározásánál nem valamiféle objektív határérték meghatározására törekedtem, hanem az egyik legfontosabb szempont az volt, hogy az eredeti térképekhez minél jobban hasonlító, levezetett térképeket kapjak.

Alaptérképek, domborzatmodellek, módszertan

A cikkben 4 mintaterület geomorfológiai térképeit vizsgáltam:

1. Jósvalői-fennsík, Aggteleki-karszt (geomorfológiai térkép: MÓGA, 1998; 1:25 000; DDM: 1:10 000 EOVS térkép alapján)
2. Bükk-fennsík Ny-i része (geomorfológiai térkép: HEVESI, 2002; 1:10 000; DDM: 1:10 000 EOVS térkép alapján)
3. Biokovo-hegység központi rész, Horvátország (geomorfológiai térkép: TELBISZ et al, 2005; 1:25 000; DDM: 1:25 000 topográfiai térkép alapján)
4. Pelsőci-fennsík, Gömör-Tornai-karszt (geomorfológiai térkép: MÓGA, 1998; 1:25 000; DDM: SRTM adatbázis alapján, 90 m vízszintes felbontás)

A geomorfológiai térkép levezetéséhez felhasználható paraméterek, eljárások, melyek a digitális domborzatmodellező szoftverekben általában elérhetők:

- Magasság (ez az alapadat)
- „Szokásos” morfometriai mutatók (A „szokásos” jelző itt arra utal, hogy e mutatók terepi és geometriai értelmezése világos, könnyen érthető fogalom és használatuk régóta nyúlik vissza a geomorfológiában):
 - elsőrendű: lejtőszög, kitettség
 - másodrendű: görbület (lejtőirányú, sík, érintőirányú)
- Mozgó-ablakkal számított statisztikai mutatók (Alternatív elnevezések: szűrők / filterek / neighbourhood statistics. Képfeldolgozásból a domborzatelemzésbe „átszivárgott” módszerek, bár egyes elemek, pl. relatív relief, már korábban is előfordultak a felszínalaktanban. Ezek előnye, hogy a számítás léptéke /sugara/ változtatható, igazítható a formák léptékéhez):
 - minimum, maximum, terjedelem (ez a relatív relief), átlag, szórás, stb.

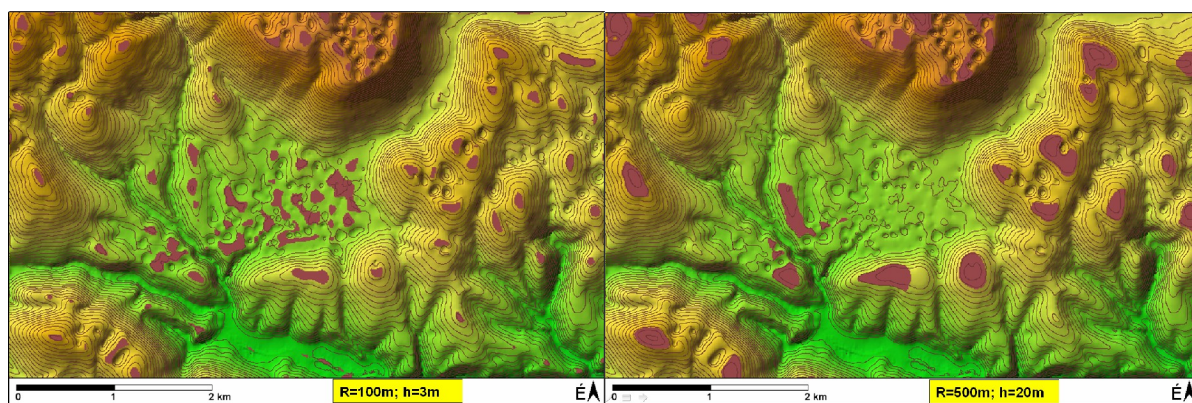
- ## Eredmények

1) Jósvalfői-fennsík

Figure 1 consists of four maps of the Jászvölgy region. Map (a) is a topographic map showing elevation contours and place names such as Szappanos-tető, Feltáskút, Nagy-oldal, Sédce, Ábrás-gálya, Mátyás-gálya, Jászvölgy-jenő, Kősgálya, Hegyút, Kősgálya, Jászvölgy, and Jászva. Map (b) is a topographic map showing elevation contours. Map (c) is a geomorphological map showing relief with a color scale from 0 to 40. Map (d) is a geomorphological map showing relief with a color scale from -2 to 2. Each map includes a scale bar from 0 to 2 km and a north arrow.

Tetőnek tekinthetjük azokat a térszíneket, amelyek magassága a felszín lokális maximumától csak kevéssé tér el és lejtésük viszonylag kicsi. Ezek alapján morfológiai értelemben a számítás a következő: maximum szűrőt kell alkalmazni a magassági értékekre és ebből kivonni az adott pixel magasságát, továbbá vizsgálni lehet a lejtőszög értékét. Így 3 állítható paraméter adódik: az első szabályozza, hogy mennyire lokális a környezet (szűrő

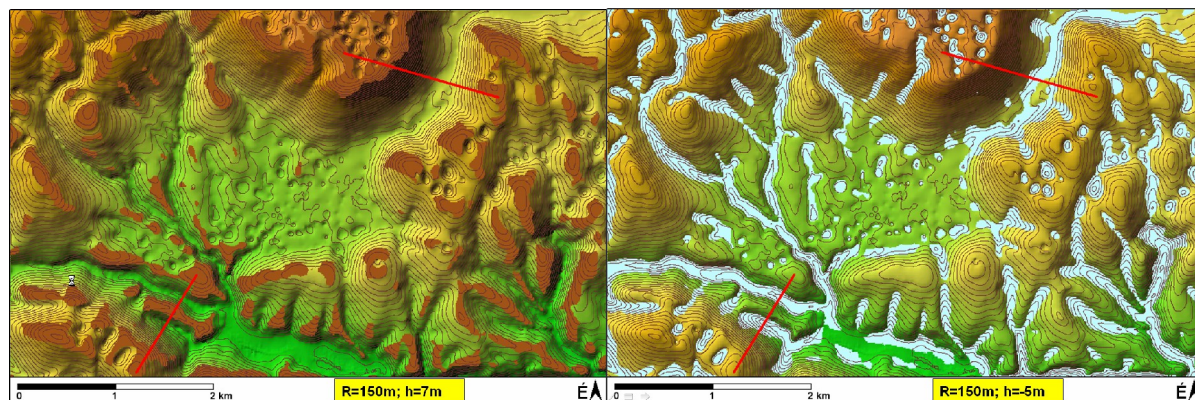
sugara: R); a második a magassági eltérést adja meg (h); a harmadik a lejtőszög érték felső határát rögzíti. E harmadik paramétertől a jelen esetben eltekintettem. A két másik paraméter eltérő értékeivel kapott képet mutatja a 2. ábra. Megfigyelhető, hogy kis sugár és magassági eltérés esetén a tetők lehatárolása egyrészt túl szűk, másrészt tetőnek nem feltétlenül nevezhető kisebb lokális maximumok is bekerülnek ebbe a kategóriába (pl. Jósvalői-fennsík közepén). Túl nagy sugár esetén problémát jelenthet, hogy olyan tetők is „elvesznek”, amelyeknek nem kéne (pl. a „Hegytető” nevű tető fele a kép középső, déli harmadában), mert egy közeli magasabb csúcs (vagy hegyoldal) lokális maximumának „árnyékába” kerülnek. Abszolút megoldás általában nem adható a problémára, több skálán meg kell vizsgálni a tetők lehatárolását és vagy ezek közül kiválasztani egy optimálisat, vagy lehet a különböző értékek esetén meghatározott tetők unióját tekinteni (jelen esetben a végeredmény térképen ezt a megoldást alkalmaztam).



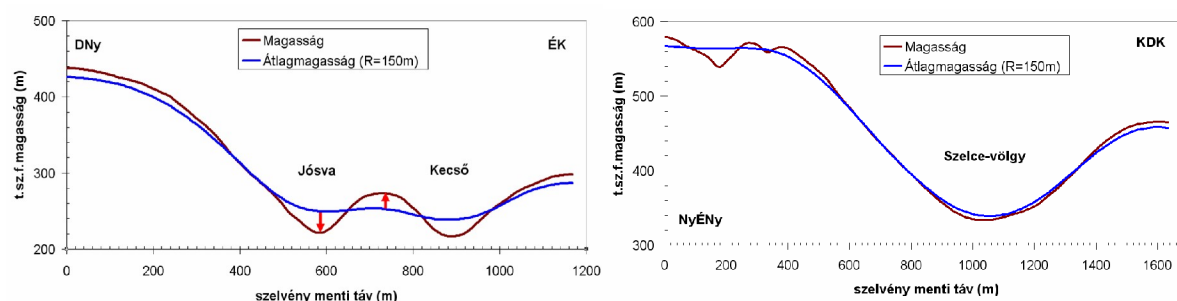
2. ábra: Tetők lehatárolása különböző paraméterek(R , h) esetén

Völgyközi hát, gerinc a környezetéből kiemelkedő domború forma, mely magába foglalja a tetőket is. Több különböző modell-eljárással is megközelíthető a kérdés: alkalmazhatók a hidrológiai eljárások, melyek segítségével a vízválasztó meghatározható. Ez egyrészt több előkészítő munkát igényel, másrészt a felszíni lefolyásokat nélkülöző karsztos területen egyéb problémákat is felvet. Használható a görbület-térkép is a domború felszíninformák lehatárolására (1. ábra), ennek hátránya azonban, hogy általában 3x3-as al mátrix alapján történik a számítás, és a felszín domborúságának léptéke nem feltétlenül ehhez igazodik. Így ez esetben is javasolható a mozgóablakos eljárás: völgyközi hát (ill. gerinc) egy pixel akkor, ha a környezete *átlagmagasságát* (sugár: R) egy küszöbértéknél (h) nagyobb mértékben meghaladja (2. ábra).

Ugyanezzel az eljárással, csak egy negatív küszöbértéknél kisebb pixelek lehatárolásával kaphatjuk meg a **völgyeket**. A felszíninformák léptéke természetesen ez esetben is befolyásolja az eredményt, és akár egy kisebb területen belül is eltérő lehet. A 2. ábrán megfigyelhető, hogy a keskeny völgyek lehatárolása kielégítő, ám a szélesebb Szelce ill. Jósvalói völgy közepe például kimarad. Ezt a jelenséget értelmezik a 3. ábra szelvényei. A megoldást ez esetben is a különböző paraméterek (nagyobb sugár) mellett meghatározott völgyi pixelek uniója jelentheti.

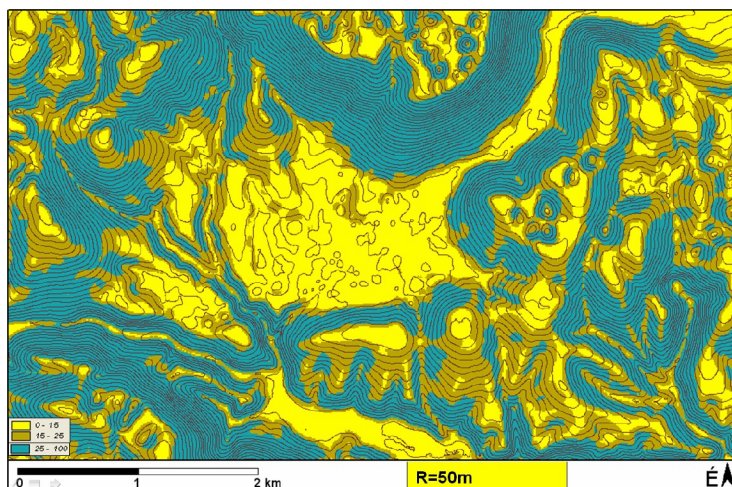


2. ábra: Völgyközi hátak illetve völgyek lehatárolása különböző paraméterek(R , h) esetén. A piros vonalak a 3. ábra szelvényhelyeit jelölik.



3. ábra: A völgyközi hátak ill. völgyek lehatárolásának elvét szemléltető kereszt-szelvények (szelvényhelyeket ld. a 2. ábrán). A szélesebb Szelce-völgy esetében az átlagmagasság jobban „hozzásimul” a valós magassághoz, és a küszöbérték megállapításánál ez okozza a problémát.

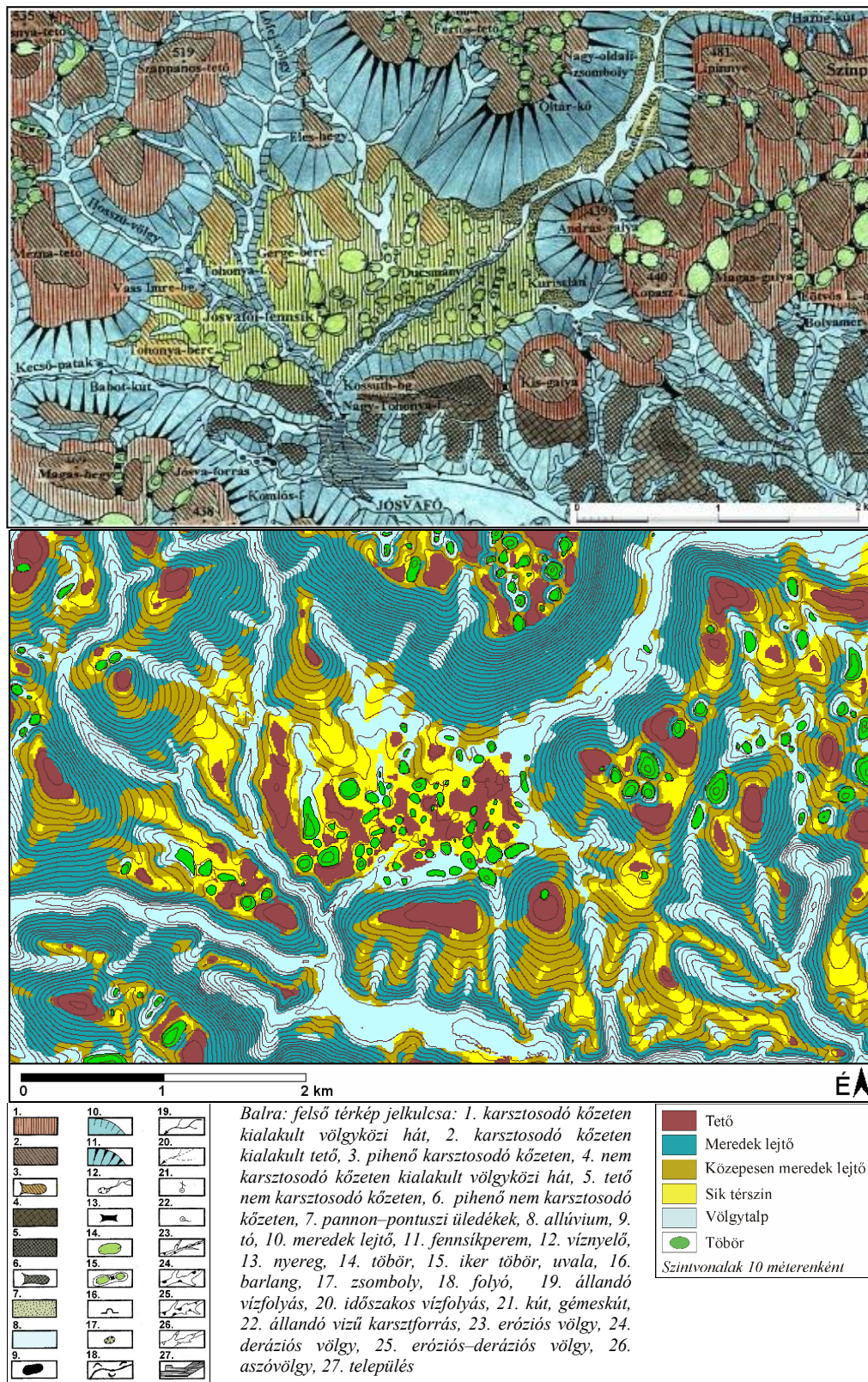
A **lejtők** lehatárolása vagy közvetlenül a lejtőszög vagy a relatív relief (Terjedelem /Range/ szűrő) alapján történhet. Kis szűrő sugar esetén a két eredménytérkép vizuálisan szinte teljesen megegyezik (az értékek természetesen eltérnek), ha azonban a lejtőket bizonyos mértékig generalizálni kívánjuk, akkor ez esetben is a szűrő-módszer a kedvezőbb, hiszen így a kisebb „lejtő-egyenetlenségek” egy nagyobb sugar esetén eltűnnek (4. ábra). A kategóriahatárokat jelen esetben a „cél” geomorfológiai térképhez igazítottam.



4. ábra: Kategorizált relatív relief térkép (0-15 m: sík; 15-25 m: közepesen meredek lejtő; 25-100 m: meredek lejtő; az értékek az 50 m sugarú körben számított relatív reliefet jelentik)

A **töbrök** lehatárolása a Jósvafői-fennsík esetében a legkülső zárt szintvonalak elve alapján történt, vektoros formában lettek digitalizálva a topográfiai térkép alapján, azaz nem közvetlenül a domborzatmodellből lettek levezetve. Ugyanakkor erre elvi lehetőséget jelent a hidrológiai modellezés, amelynek segítségével a lefolyástalan mélyedések feltölthetők a „perem” magasságáig (TELBISZ et al, 2005). Megjegyzendő, hogy az egyedi töbrök akkor határolhatók le ezzel a módszerrel, ha a víznyelő pontokat (töbrök legmélyebb pontjait) megadjuk, egyébként jellemzően a nagyobb, **uvaszerűen** összefüggő mélyedéseket lehet ezzel a módszerrel megkapni.

A fenti megfontolások alapján a domborzatmodellből levezetett geomorfológiai térkép és az eredeti térkép (MÓGA, 1998) összehasonlítása az 5. ábrán látható. A két térkép vizuálisan igen nagyfokú hasonlóságot mutat, tehát a domborzatmodellből történő levezetés jónak mondható. Természetesen bizonyos kategóriák (pl. a közetre vagy a kialakító folyamatra utalók) nem különíthetők el pusztán a domborzatmodell alapján. Megállapíthatjuk, hogy a kézzel rajzolt térképen a tetők nagy mérete domborzatilag nem a valós képet tükrözi. Ugyanakkor jól megfigyelhető a levezetett térképen, hogy a Jósvafői-fennsík besorolása mennyire nehéz: a peremek mentén inkább „völgy”, a középső részei – a töbröket leszámítva – inkább tetőként, vagy egyik kategóriába sem sorolt sík térszínként jelennek meg. Ez a bizonytalanság azonban a terület „sajátja”, geomorfológiai megítélése „emberi aggyal” sem egyszerű, jellemző, hogy egyesek fennsíknak nevezik, miközben tágabbban nézve mégiscsak medencére (kiemelt poljére?) emlékeztet.



5. ábra: A Jászvái-fennsík és környéke geomorfológiai térképe kézi szerkesztés (MÓGA,1998) illetve domborzatmodellből történő levezetés alapján.

2) Bükk-fennsík

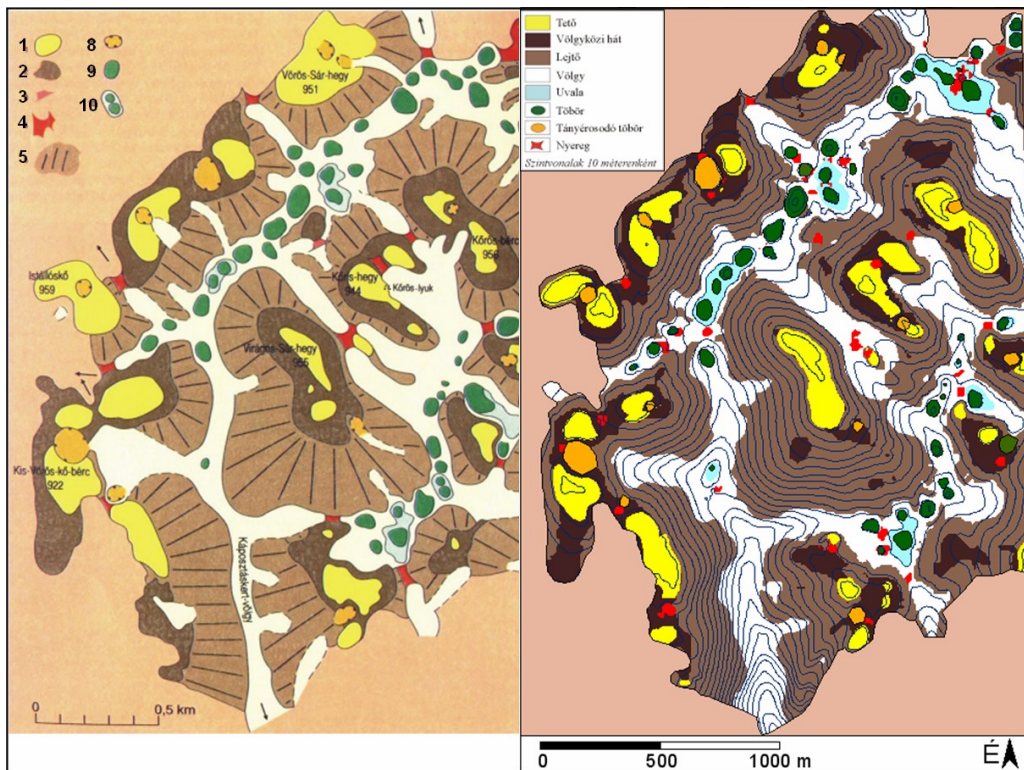
A Bükk-fennsík nyugati részén található mintaterület esetében hasonló felszíninformák szerepeltek, így a levezetés is hasonló módszerekkel történt, legfőljebb a paraméterek értékén kellett bizonyos mértékben változtatni. Ugyanakkor ennél a térképnél egy újabb felszíninforma, a nyereg ábrázolására is kísérletet tettem.

A **nyereg** fogalma geometriailag könnyen értelmezhető (az egyik irányba pozitív, másik irányba negatív a görbülete) és a kézzel rajzolt térképeknél általában nem okoz problémát, automatizált kijelölése mégsem egyszerű feladat (PECKHAM, JORDAN, 2007). A gondot elsősorban az okozza, hogy a nyereg általában több pixelre terjed ki, amelyek lejtése és görbülete közelítőleg 0, így az elvi definíció nehezen alkalmazható. PECKHAM, JORDAN (2007) javaslata az alábbi: határoljuk le a vízválasztó gerinceket és ezek lokális minimumpontjait határozzuk meg. A bükki mintaterület esetében kísérletképpen egy ettől eltérő definíciót alkalmaztam, ami ugyan nem teljes mértékben egyezik meg a nyereg fogalmával, ám azt jól közelíti és viszonylag könnyen végrehajtható műveletekből áll. A definíció lényege: a nyereg olyan forma, amely körülbelül a környezete átlagmagasságával egyezik meg és a kitettség „körbejár” körülötte, azaz nagy a kitettség változékonysága („Variety” szűrő). Technikailag ez egy magasságra alkalmazott átlag-szűrő („Mean”, sugár: R_1) és egy osztályozott kitettségre alkalmazott változékonyság-szűrő („Variety”, sugár: R_2) segítségével valósítható meg. (A bükki példa paraméterei $R_1=150$ m; átlagtól való eltérés kisebb, mint 5 m; $R_2=30$ m; 12 kitettség-kategória; változékonyság alsó küszöbértéke: 9). Az eredménytérképet a 6. ábra mutatja. Látható, hogy a térképek jó általános egyezése mellett, a nyergek lehatárolása is többé-kevésbé sikeresnek tekinthető, azonban a nyergek körvonala kevésbé szimbólumszerű, mint kézi szerkesztés esetén, továbbá számos kevésbé fontos, töbörközi nyereg is megjelenik a levezetett térképen.

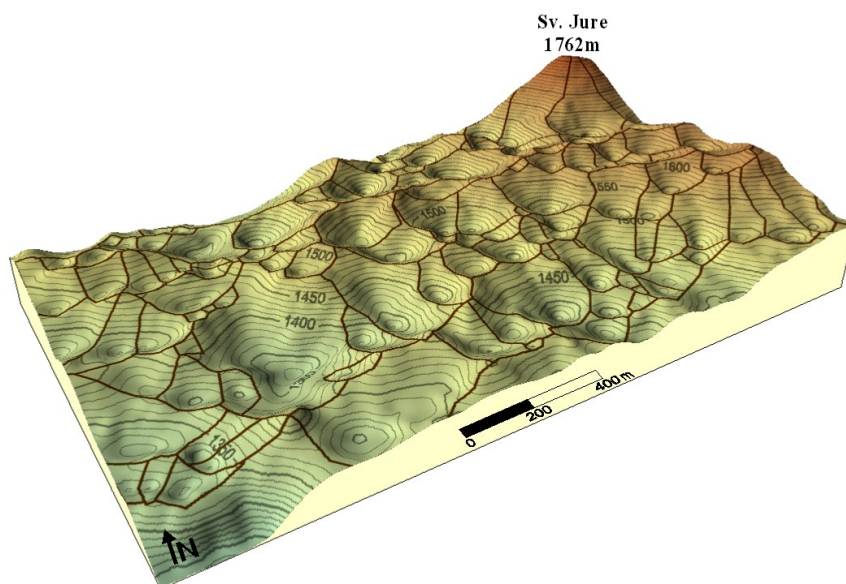
3) Biokovo-hegység

A Biokovo-hegység központi része jellegzetes poligonális karszt, ahol a szorosan elhelyezkedő töbrök közti keskeny gerincek határozzák meg a táj képét (6. ábra). Részletes elemzését ld. TELBISZ et al, 2005, és ebből a cikkből származik a mintaként vett geomorfológiai térkép is.

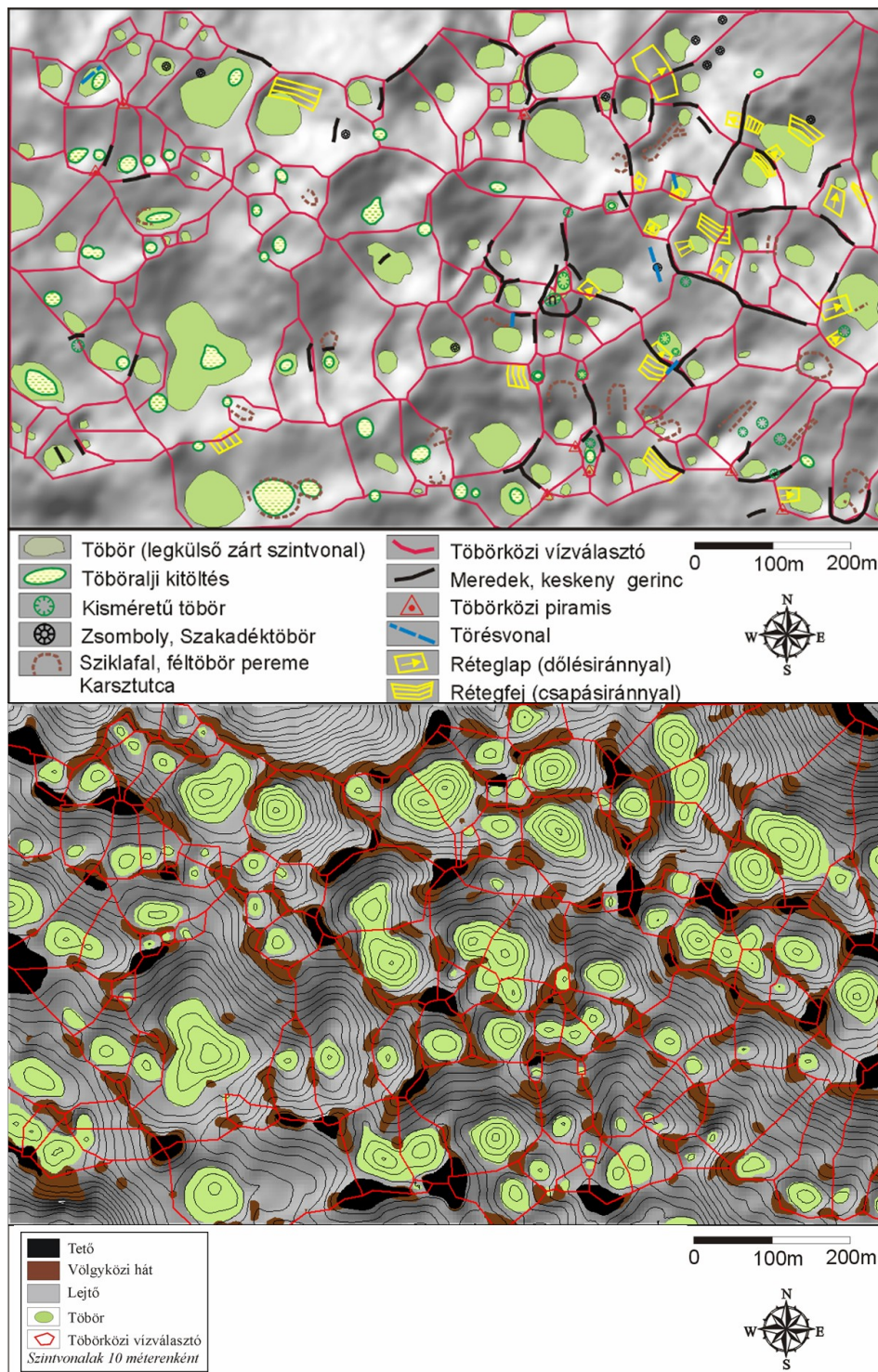
Ezen a területen a hidrológiai eljárásokat lehetett sikerrel alkalmazni, egyrészt a gerincek lehatárolására, másrészt a töbörperemek meghatározására. A csak részben kézzel szerkesztett geomorfológiai térkép és a levezetett térkép összehasonlítása a 7. ábrán látható. A kézi térkép többlet-információja ez esetben a terepbejárások alkalmával megfigyelt és a térképen megjelenített kisebb formák (réteglapok, zsombolyok, stb.) ábrázolásának köszönhető, amit természetesen pusztán a domborzat alapján nem lehet levezetni.



5. ábra: A Kőrös-lyuk (Bükk) környékének geomorfológiai térképe kézi szerkesztés (HEVESI, 2002) illetve domborzatmodellből történő levezetés alapján. Baloldali térkép jelkulcsa: 1. fő völgyközi hát tetője; 2. völgyközi hát; 3. nyereg völgyi vízválasztóval; 4. nyereg völgyközi hátán; 5. völgyközi hát és völgytalp közötti lejtő; 8. tányérosodott függő-töbör; 9. víznyelőtöbör; 10. ikertöbör.



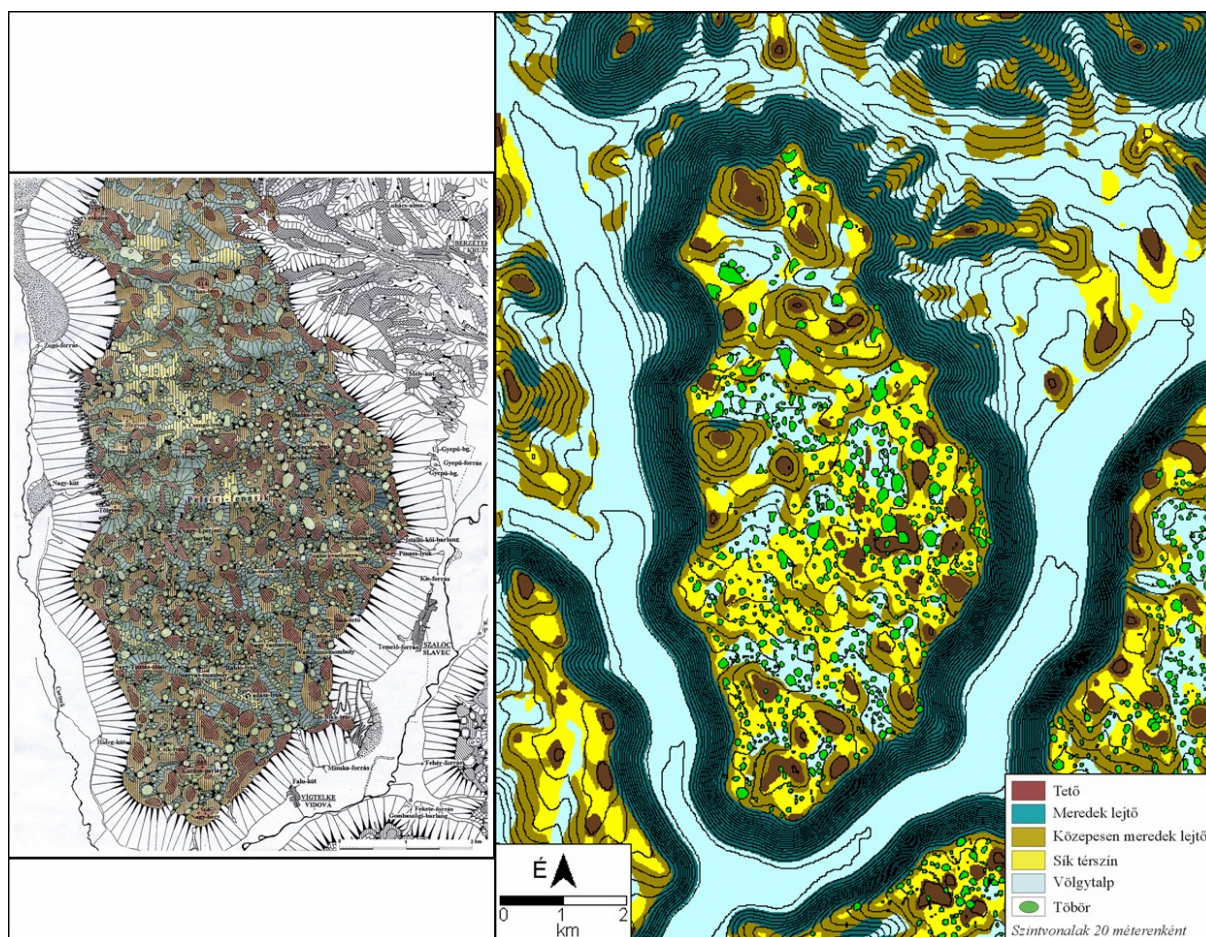
6. ábra: A Biokovo-hegység központi részének poligonális karsztja a DDM-re húzott töbörközi gerinchálózat ábrázolásával.



7. ábra: A Biokovo-kegység központi részének geomorfológiai térképe terepmunka (TELBIŠZ et al, 2005) illetve domborzatmodellből történő levezetés alapján.

4) Pelsőci-fennsík (Gömör-Tornai-karszt)

Az utolsó mintaterület a Pelsőci-fennsík, mely abban tér el az eddigi területekről, hogy DDM-ként az SRTM adatbázist használtam, így az eredmény-térkép elvileg kb. az 1:100 000 méretarányú térképpel lenne összehasonlítható. Eredeti geomorfológiai térképként azonban szintén a MÓGA J. (1998) féle geomorfológiai térkép állt rendelkezésemre. A módszerek ez esetben is szinte teljesen megegyeztek a Jósvafői-fennsíknál bemutatott eljárásokkal, és csak a paraméterek módosultak az eltérő méretarány miatt. A 8. ábra alapján megállapítható, hogy az eredménytérkép – a felbontás szabta korlátok figyelembevételével – megfelel az elvárásoknak és ekkora kiterjedés mellett jobb áttekintést nyújt a felszíninformákról, mint a részletesebb, kézi szerkesztésű térkép.



8. ábra: A Pelsőci-fennsík geomorfológiai térképe kézi szerkesztés (MÓGA, 1998) illetve domborzatmodellből történő levezetés alapján. Előbbi jelkulcsát ld. 5. ábra.

Következtetések

- A fent bemutatott geomorfológiai térképek alapján az alábbi következtetések adódnak:
- Karsztos területek geomorfológiai térképei jó közelítéssel „leutánozhatók” DDM alapján.
 - Nagy méretaránynál a terepi vizsgálatok természetesen számos olyan információt nyújthatnak, amit nem lehet csak a DDM-ből levezetni.
 - Tetők, völgyközi háta, völgyek, lejtők lehatárolása viszonylag jól megoldható (elsősorban a szűrő-technika segítségével), ám a paraméterek beállítása szubjektív döntéseket igényel.
 - A karsztos geomorfológiai térképek levezetéséhez is hasznosak lehetnek a hidrológiai modellezésben bevett eljárások.
 - Nehezebben azonosítható, általános felszínformák: nyereg, pihenő. Előbbire egy új praktikus megközelítési lehetőséget mutattam be: a nyereg olyan pontokból áll, amelyek magassága a környezet átlagától kevésbé tér el és a környezet kitettsége nagyfokú változatosságot mutat.
 - A kialakító folyamatok, a kor, az alapkőzet meghatározása nem várható el a teljesen automatikus módszerektől, de ha a megfelelő adatbázisok rendelkezésre állnak, akkor ezek összeillesztésével akár az említett tényezők is kombinálhatók a levezetett geomorfológiai térképekkel.

Irodalom

- BOLOGNARO-CREVENNA, A., TORRES-RODRÍGUEZ V., SORANI V., FRAME, D., ORTIZ, M.A., 2005: Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico – *Geomorphology*, 67, pp. 407-422.
- DIKAU, R., 1989: The application of a digital relief model to landform analysis. – In: Raper JF (edt.): *Three dimensional applications in Geographical Information Systems*. – Taylor and Francis, London, pp. 51-77.
- DRAGUT, L., BLASCHKE, T., 2006: Automated classification of landform elements using object-based image analysis – *Geomorphology*, 81, pp. 330-344.
- HAMMOND E.H., 1964: Analysis of properties in landform geography: An application to broadscale landform mapping. – *Annals of Association of American Geographers*, 54, pp. 11-19.
- HEGEDŰS A., 2004: A domborzat fő formáinak vizsgálata digitális domborzatmodell alapján – in: *Domborzatmodell alkalmazások Magyarországon, HUNDEM 2004 konferencia közleményei*. – ME Természetföldrajz-Környezettan Tanszék, CD, ISBN 963 661 686 8.
- HEVESI A., 2002: A magyarországi karsztok fejlődéstörténet és formakincs szerinti csoportosítása; az aggteleki jellegű karsztok felszíni formakincse. – Akadémiai doktori értekezés, Kézirat, Miskolci Egyetem, 145 p.
- JENNESS, J., 2006: Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. – Jenness Enterprises. Available at: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- MARTZ, L.W., GARBRECHT, J., 1998: The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models – *Hydrological Processes*, 12, pp. 843-855.

- MEZŐSI G., 1993: Geomorfológia térképezés – in: BORSY Z. (szerk.): Általános természetföldrajz. – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 665-675.
- MÓGA J., 1998: Felszínalaktani megfigyelések a Gömör-Tornai-karszton. – Doktori (PhD) értekezés, Kézirat, ELTE., 158 p.
- PECKHAM, R.J., JORDAN, GY., 2007: Digital terrain modelling: development and applications in a policy support environment – Springer, 313 p.
- TELBISZ T., DRAGAŠICE, H., NAGY B., 2005: A Horvátországi Biokovo-hegység karsztmorfológiai jellemzése terepi megfigyelések és digitális domborzatelemzés alapján – in: *Karsztfejlődés X.*, Szombathely, pp. 229-244.
- WILSON, J.P., GALLANT, J.C., 2000: Terrain Analysis. Principles and Applications – Wiley, 479 p.