



Józsa Edina – Fábíán Szabolcs Ákos – Varga Gábor – Varga Tamás

## **Meredek lejtőkkel elválasztott sík felszínek domborzatmodellezésének sajátosságai dunai magaspartok példáján**

### **ABSZTRAKT**

A Dunát kísérő magasparti területek a sokszor falszerűen megjelenő lejtők miatt kihívást jelentenek a domborzat digitális modellezése során. Az ingyenesen elérhető geoinformatikai szoftverek többféle megoldást kínálnak szintvonalakból történő raszteres interpolálásra, azonban eltérő mértékben képesek kezelni a problémát. Az elérhető módszerek összegyűjtése, a számított domborzatmodellek értékelése valamint ezek terepi mérésekkel és a DDM-5 állománnyal történő ellenőrzése új információkat szolgáltat a témával kapcsolatban. Az eredmények rávilágítottak a DDM-5 hiányosságaira a magasparti területeken. A szintvonalból történő interpolálásra a „GRASS GIS Közösség” által javasolt módszerek a vizsgált domborzati viszonyok mellett eltérően teljesítettek. A „Natural Neighbor” eljárás viszonylag jól kezelte a meredek lejtők problémáját, míg a „Raster Contours” módszer kevésbé bizonyult alkalmasnak. A szintvonalrajz előkészítésének, javításának és a domborzatmodellezés kivitelezésének módszertani leírása, az alkalmazható eszközök bemutatása támpontul szolgálhat a későbbi kutatásoknak a megfelelő eszközök és módszerek kiválasztásában.

### **ABSTRACT**

The high bluffs along Danube with frequent steep slopes imply challenge during digital surface modelling. Free GIS software distributed under GPL offer several solutions to interpolate in raster from contours, but problems can be managed at different levels. Collecting available methods, evaluating calculated elevation models and verifying them with field measurements and DDM-5 data provide new information on topic. The results of the research reflected on the deficiencies of DDM-5 on the high bluff areas. The contour lines to DEM interpolation methods advised by the „GRASS GIS Community” presented different results with the circumstances of the examined terrain. The „Natural Neighbor” method managed the problem of high bluffs well, however the „Raster Contours” method proved less suitable. Detailed description for preparing and correcting contours and for implementing

of elevation modelling, moreover introducing applicable tools can serve as a guide for further studies to choose adequate tools and methods.

*Kulcsszavak: domborzatmodellezés, ellenőrzés, dunai magaspartok, GNU GPL GIS, DEM*

*Key words: surface modeling, validation, Danubian bluffs, GNU GPL GIS, DEM*

## BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A digitális domborzatmodellek (DDM) az elmúlt évtizedekben széles körben elterjedt termékei lettek a földfelszínre vonatkozó információ-szolgáltatásnak, valamint egyre több esetben váltak a földfelszín tulajdonságaira irányuló kutatások eszközévé is (TOZ, G. – ERDOGAN, M. 2008). A GIS és a DDM-ek együttesen lehetőséget nyújtanak részben, vagy teljesen automatizált módszerekkel, nagy területre kiterjedő geomorfometriai elemzésekre, viszonylag alacsony idő- és költségfordítással (HENGL, T. – MACMILLAN, R. A. 2009). Ennek azonban alapvető feltétele, hogy a vizsgálatok céljaihoz megfelelő pontosságú, horizontális és vertikális felbontású DDM álljon rendelkezésre (REUTER, H. I. et al. 2009).

Magassági adatok három fő eljárással állíthatók elő: földi felméréssel, topográfiai térképekről kartometriai eljárással, valamint távérzékelési módszerekkel (HUTCHINSON, M. F. – GALLANT, J. C. 2000). Meredek lejtők sok felszínforma (pl. eróziós árkok, szakadékvölgyek, tömegmozgásos felszínek és alámosott tó- vagy folyópartok) esetében is megjelennek, így ismertek szakirodalmi példák mindhárom adatnyerési eljárás alkalmazására és a modellezés nehézségeire egyaránt (BETTS, H. D. – DE ROSE, R. C. 1999, CHAPLOT, V. 2013, SU, Z. et al. 2013, KASAI, M. et al. 2009, TANARRO, L. M. – MUÑOZ, J. 2012).

Az adatforrások nem csak minőségükben, de anyagi vonzatukban is jelentősen eltérnek egymástól, és számos esetben ez utóbbi tényező alapján kerül sor a DDM alapadatainak kiválasztására (KIRÁLY G. 2004). Éppen ezért a szintvonalak önálló vektorizálása útján nyert magassági értékek gyakori forrásai a domborzatmodellek előállításának, annak ellenére, hogy az eljárás a nemzetközi kutatásokban már elavult módszernek számít (NELSON, A. et al. 2009), mert jellegzetes hibák jelenhetnek meg (pl. teraszosság) és bizonyos statisztikai paraméterek meghatározása csak korlátozottan lehetséges (REUTER, H. I. et al. 2009). Az igen meredek és falszerű lejtők (a szakirodalomban található kategorizálás szerint 30°-nál nagyobb meredekség, a modellezési nehézségeket tekintve inkább 45–50°-nál meredekebb lejtők) esetében a digitalizálás és a DDM előállítása egyaránt kihívást jelent. E lejtők grafikus ábrázolására a geomorfológiai kutatásokban általánosan használt 1:25 000 és 1:10 000 ma. topográfiai térképeken (DEMEK, J. [ed.] 1972) csak egyezményes jeleket alkalmaznak. A domborzatmodellezés során is problémát okoz, hogy egy cella területén több szintvonal reprezentálná a magasság változását, így nem egyértelmű, hogy adott terepi ponthoz mely magasságérték tartozik (MÉLYKÚTI G. 2007, 2010). A geoinformatikában jártas szakemberek számára is nehézséget okozhat a domborzati viszonyoknak megfelelő modellezési eljárások kiválasztása, pontos parametrizálása, a valós domborzatra leginkább hasonlító eredmények produkálása (MITAS, L. – MITASOVA, H. 1999). Különösen igaz ez a mintaterületekhez hasonló felszínek esetében. Megoldásként elsősorban az ArcGIS kereskedelmi szoftver interpolációs eszközkészlete merülhet fel, amelyek között találunk diszkontinuus területek előállítására alkalmas módszereket<sup>1</sup> (pl. Spline with Barriers, IDW, Topo to Raster).

<sup>1</sup> [http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Comparing\\_interpolation\\_methods/009z000000z4000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Comparing_interpolation_methods/009z000000z4000000/)

Jelen tanulmány célja azonban nyílt forráskódú, illetve szabad felhasználású térinformatikai szoftverek eszközkészletének alkalmazására építve egyfajta ismertetőt, az eredmények tükrében egy útmutatót elkészíteni, amely egyaránt megkönnyíti a szintvonalas állomány előállítását és javítását, valamint magát az interpolálási folyamatot is. Ehhez szükséges volt az elérhető eszközkészlet, módszerek tüzetes áttanulmányozása, kipróbálása, az eredmények alapos ellenőrzése. A kutatásban tehát fontos, hogy a lépéssorozat teljes egészében szabadon hozzáférhető szoftverek alkalmazásával kerül elvégzésre, különös tekintettel a későbbi automatizálási lehetőségekre.

A GRASS GIS, mint vezető nyílt forrású geoinformatikai program, szintén többféle lehetőséget kínál a vizsgált felszínformák modellezésére. Ezek mellett a partfalak, magaspártok raszteres interpolációjára BARTON G. (2004) által ArcGIS szoftverkörnyezetre kifejlesztett Lego-GIS<sup>®</sup> módszer is átvihető GRASS-ba.

### A MINTATERÜLETEK RÖVID BEMUTATÁSA

A Dunát kísérő löszsíkok, lösszel fedett völgyközi háta a Mezőföld és a Tolna-Baranyai-dombság területén egyaránt jó példát kínálnak a modellezni kívánt jelenségre. A pleisztocén folyamán 25–80 m vastag löszösszet és löszszerű üledék (PÉCSI M. 1993) települt a rétegsor alsó részét képező vitatott kronológiai besorolású vörösagyagra (SCHWEITZER F. – SZŐÖR GY. 1997, KOVÁCS J. 2003, KOVÁCS J. et al. 2011). E teljes összlet alapját eróziós hiátus alatt a pannon üledékek adják. Ez mind földtani, mind geomorfológiai tekintetben lehetőséget adott a felszínmozgásos (csuszamlások, omlások) domborzat kialakulására (KLEB B. – SCHWEITZER F. 2001). E löszfalakat a Duna laterális eróziója kb. 40 000 éve (HERTELENDI E. et al. 1991) többé-kevésbé folyamatosan pusztítja (LÓCZY D. et al. 2008). Az utóbbi 2000 évben a római épületek maradványai és az antropogén hatások alapján a hátrálás mértéke elérte a 10 m/100 évet (LÓCZY D. et al. 1989).

Jelen kutatáshoz Tolna megye legészakabbi (Dunaföldvár) és legdélebbi (Báta) településéről választott mintaterületek kerültek elemzésre (*1. ábra*). Ezek eltérnek egymástól a magasparti térszín Dunához való jelenlegi helyzete szerint. Hasonlóak azonban abszolút és relatív magassági viszonyaik tekintetében, így eltérő léptékű, de hasonló keletkezésű és recens fejlődésű, valamint hasonló tömegmozgásos formákat hordozó, antropogén felszínformálással érintett területekről van szó.

1. ábra. A magaspartok áttekintő helyszínrajza Tolna megyében (szerk. JÓZSA E.). *A* = magaspartok közvetlenül a Duna mellett, *B* = magaspartok a Dunától távol, *C* = nem jellemző tipikus magaspart, *D* = mintaterületek, 1 = Dunaföldvár–Bölcske, 2 = Dunakömlőd–Paks, 3 = Tengelic–Szőlőhegy, 4 = Medina–Sióagárd, 5 = Szekszárd–Báta, 6 = Báta–Dunaszekcső

Fig. 1. A sketch on location of bluffs in Tolna county (ed. JÓZSA, E.). *A* = bluffs close to Danube, *B* = bluffs far from Danube, *C* = no typical bluff, *D* = study areas, 1 = Dunaföldvár–Bölcske, 2 = Dunakömlőd–Paks, 3 = Tengelic–Szőlőhegy, 4 = Medina–Sióagárd, 5 = Szekszárd–Báta, 6 = Báta–Dunaszekcső



A közvetlenül a Duna mellett húzódó dunaföldvári magaspart esetében a modellezés nehézségeinek bemutatásához elegendő volt egy 2 km<sup>2</sup>-es terület kijelölése. A vizsgált térségben alapvetően két szint különíthető el: a 140–150 és a 120–130 méter közötti legmagasabb térszínek (Alsó-, és Felső-Öreghegy tetőszintjei) és a Dunát kísérő 92–100 méter közötti szint. Ezek a Duna laterális eróziója miatt meredek lejtőkkel kapcsolódnak össze. A löszplatók felszínét deráziós völgyek és meredek falú, alápincézett mélyutak is szabdalják (Ádám L. et al. 1990, Schweitzer F. 2011). A terület geomorfológiai felépítésének értelmezését és térképezését is nehezíti a Felső-Öreghegy D-i elvégződésénél húzódó csuszamláshalmazok összetett rendszere. Az 1970-es partcsuszamlás óta – melynek csuszamláshalmazja jelenleg is jól kivehető – nem volt hasonló méretű és akkora kárt okozó csuszamlás, de kisebb tömegmozgásos események jelenleg is nagy számban fordulnak elő és formálják a területet. Emellett az egykori és napjainkban is zajló stabilizációs programok (pl. Alsó-Öreghegy előtti mederrendezés, támfalépítés a Kálvárián) jelentős antropogén felszínalakító beavatkozásként értelmezhetőek. A domborzatmodellezés kihívása a változatos, különböző kiterjedésű és magasságban húzódó felszínekből (fosszilis csuszamlások nyomai, löszplató részei) és különböző skálájú meredek lejtőkből felépülő domborzat digitális reprodukálása.

A 3 km<sup>2</sup>-es bátai mintaterület esetében a folyó jelenleg több km-re található a Dél-Baranyai-dombság peremétől. Helytörténeti források (V. KÁPOLNÁS M. 2004) és korabeli térképek (pl. első katonai felmérés térképe) azonban bizonyítékul szolgálnak a Sárvíz és a Duna folyószabályozások előtti erodáló tevékenységére. A szélesebb ártér viszonylag egyöntetű; LÁNG S. (1957) megállapításai szerint a Tolnai-Sárvíz e szakaszán csak az egykori medrek, gyűrök és göröndök jelentenek relief-energiát. A löszplató nagy szintkülönbséggel válik el a síkságtól, peremét számos hátravágódó deráziós völgy tagolja, amelyek emberi hatásra tovább mélyültek, az eredeti völgytalptól eltérő helyen is folytatódtak (LEÉL-ÖSSY S. 1953, FÁBIÁN SZ. Á. et al. 2005). A területen egykori csuszamlások és lejtőpihenőre utaló formák is elkülöníthetőek, mint alacsonyabban húzódó, kisebb felszínek. Továbbá a plató felszínén fejlett löszdolinák is felismerhetőek (FÁBIÁN SZ. Á. et al. 2005). Kiemelendő antropogén hatás még, hogy a lakott területen belül mesterségesen 70°-nál meredekebb rézsüket alakítottak ki, így pincéket mélyíthettek a löszfalba, vagy melléképületek építéséhez megfelelő területet hozhattak létre. A kisebb léptékű, de rendszeres tömegmozgások több épületben okoztak kárt Bátán az elmúlt évtizedben: a támfalak süllyedését, partfalomlást és annak veszélyét a település főutcájáról és több a völgyekbe felkúszó utcából jelentették<sup>2</sup>. A domborzatmodellezés szempontjából a nehézséget a két enyhe reliefű felszín és a néhol közel 50 m-es szintkülönbséget jelentő változatos lejtők és a meredek falú völgyek összekapcsolása jelenti.

## MÓDSZEREK ÉS FELHASZNÁLT ÁLLOMÁNYOK

A kutatás során a Quantum GIS 1.8 Lisboa és a GRASS GIS 6.4.3 (GNU GPL) térinformatikai szoftverek kerültek alkalmazásra, a hazai felsőoktatásban való elterjedtségük, valamint a szerzők saját tapasztalatai alapján. A két szoftvercsalád kooperációt alakított ki, megkönnyítve a felhasználók munkáját. Mindkét programra jellemző, hogy az elérhető bővítmények révén az egyedi igényekhez alakítható eszköztárat kínálnak a különböző térinformatikai feladatok elvégzésére<sup>3</sup>.

A két szoftver alkalmazása a vektoros és raszteres részfeladatok alapján különült el. A digitális szintvonal állomány szerkesztéséhez a Digitizing és Advanced Digitizing modul került alkalmazásra, míg a korrigálásához a QGIS fTools (újabbán egyszerűen „Vektor” menü) eszközkészlete és Generalizer bővítménye volt jól alkalmazható, míg a DDM-ek interpolációja és a modellek ellenőrzése GRASS-ban került megvalósításra. Áttekintve az utóbbi szoftver raszteres felszín interpolációs modulját egyértelművé vált a GRASS fölénye ezen a téren, nem beszélve arról, hogy szintén bővítményekkel újabb lehetőségek is nyerhetők (pl. r.surf.nnbathy eszköz).

A munka alapját a FÖMI (Földmérési és Távérzékelési Intézet) által forgalmazott szintvonalrajz képezte. A termékleírásnak<sup>4</sup> megfelelően az EOTR 1:10 000 topográfiai térképek alapján előállított adatkészletben a szintvonalak megszakadnak ahol utakat, töltéseket metszenek, illetve egységes domborzati jelkulccsal ábrázolt képződmények fordulnak elő az alaptérképen. Az elvárásoknak meg-

<sup>2</sup> Bába község 2010. december 1-jén, 2011. február 14-én, február 28-án, október 5-én, november 9-én tartott képviselő-testületi ülésének jegyzőkönyvei, Rosette Környezetvédelmi és Mérnöki Betéti Társaság szakvéleménye

<sup>3</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/GRASS\\_GIS](http://en.wikipedia.org/wiki/GRASS_GIS), <http://qgis.org/api/1.8/>, [http://www.qgis.org/en/docs/user\\_manual/grass\\_integration/grass\\_integration.html](http://www.qgis.org/en/docs/user_manual/grass_integration/grass_integration.html)

<sup>4</sup> <http://fomi.hu/portal/index.php/termekeink/szintvonalrajz>

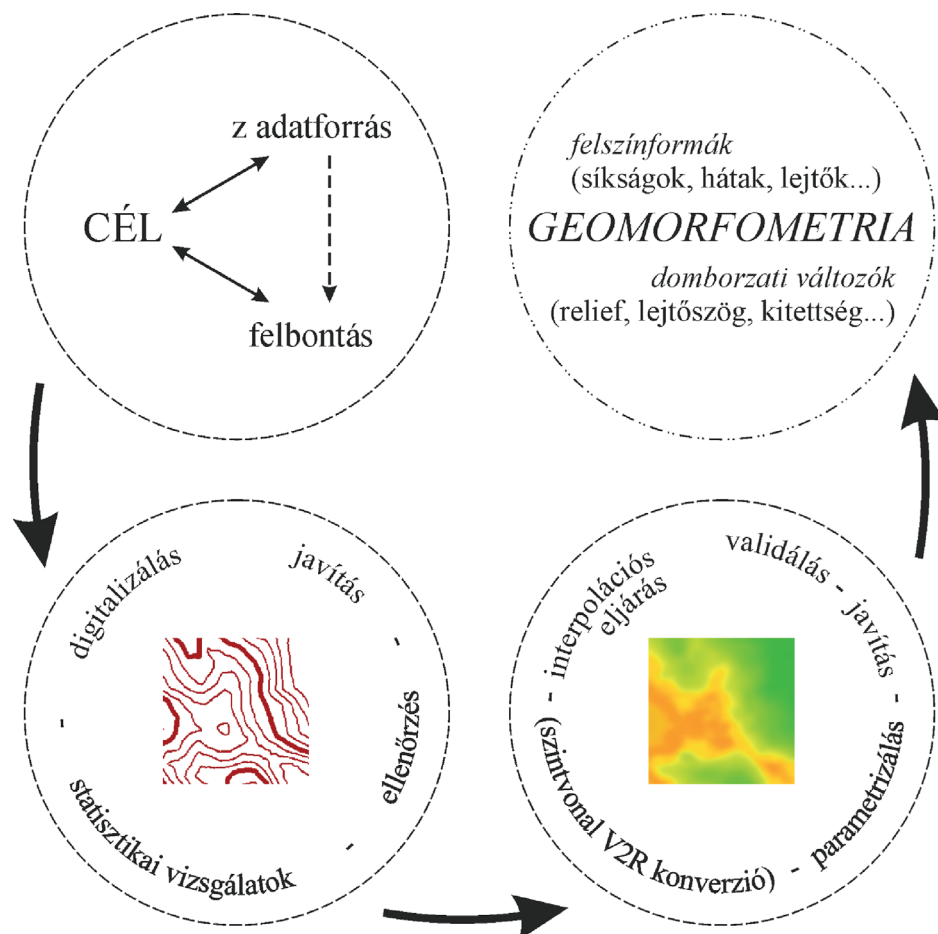
felelő DDM előállítására érdekében tehát több módosítás elvégzése volt szükséges, ezek kifejtésére az eredmények fejezetben kerül sor.

A FÖMI-től továbbá beszerzésre került az ún. DDM-5 állomány is. Az 5 m-es felbontású modellt alapvetően az említett szintvonalrajzból, 2000 óta sztereo-fotogrammetriai eljárással javítva állították elő és  $\pm 0,7$  m-es átlagos magassági megbízhatósággal jellemzett<sup>5</sup>. A tudományos kutatások esetében az árán kívül a modell egyik hátránya, hogy a TIN interpolációs eljárás során a szabálytalan háromszögháló háromszögein belül lineáris interpolációt alkalmaztak, így kivehetőek a TIN hibái, pl. a háromszögek élei vagy a vízszintes háromszögek (KIRÁLY G. 2004). A kész domborzatmodell bevonása a vizsgálatba kettős célt szolgált: megvizsgálni, hogy a hazánkban általánosan legjobbnak elfogadott (KIRÁLY G. 2004), országosan elérhető modell hogyan kezeli a magaspartokat, mélyutakat, löszös területek falszerűen megjelenő meredek lejtőit, valamint az újonnan generált modellekkel összevetve, az elvégzett munka ellenőrzésére is alkalmazható.

A domborzat modellezése mellett a kutatás során terepbejárás és TOPCON FC-250 differenciál GPS mérések révén történt annak megállapítása, hogy a mintaterületek domborzati viszonyaiban történt-e jelentősebb változás a topográfiai térképezés, illetve a térképek felújítása óta.

2. ábra. Egy DDM alapú geomorfológiai kutatás folyamata a cél meghatározásától a geomorfometriai eredmények előállításáig (szerk. JÓZSA E.).

Fig. 2. The process of a DEM-based geomorphological research from determination of aim to a production of results (ed. JÓZSA, E.).



<sup>5</sup> <http://fomi.hu/portal/index.php/termekeink/domborzat>, [http://www.geoshop.hu/images/static/ELK-DDM-5\\_Termek\\_ismerteto.pdf](http://www.geoshop.hu/images/static/ELK-DDM-5_Termek_ismerteto.pdf)



A 2. ábra foglalja össze a geomorfológiai kutatás céljának meghatározásától a DDM-en végezhető morфомetriai vizsgálatok eredményeinek kinyeréséig vezető folyamatot. A kutatás céljaihoz igazodóan tehát a bemutatott lépések vezettek el az elvárásainkhoz és az elérhető magassági adatforrásokhoz illeszkedő digitális domborzatmodell előállításához. A geomorфомetriai vizsgálatok a szerzők önálló kutatásainak témáját képezik, melyek nem tartoznak szorosan jelen publikációhoz, így arra vonatkozó eredmények itt nem szerepelnek.

## EREDMÉNYEK

### Terepi mérések

LERNER J. (1991), ENGLER P. – MÉLYKÚTI G. (2000), WINKLER P. (2007) is leszögezi, hogy a löszfalak folyamatos átalakulása elhanyagolható mértékű horizontális változás a topográfiai térképek méretarányában. Gyakorlati értelemben természetesen e változás a helyi lakosokat sokszor hátrányosan érinti, károkat okoz. A bemutatott mintaterületek esetében a felszínformákat a fent említettek alapján azonban nem tekinthetjük statikusnak a szelvények készítésének és javításának időpontjától napjainkig tartó időszakra vetítve. Ebből következően szükségszerűvé vált a terepbejárás, terepi mérések elvégzése és a szintvonalrajz, a domborzati jelek beható vizsgálata. Ennek ellenére az adatforrások időbeli pontossága, mint az adatok minőségét befolyásoló tényező, általában nem kap akkora hangsúlyt jelen kutatás – és más kutatások során sem –, hiszen kénytelenek vagyunk az elérhető állományokra támaszkodni (VEREGIN, H. 1999).

A térképszelvényekre írt információk alapján 1996 és 1998 során fejezték be a mintaterületeken azok javítását, tehát esetünkben akár 17 éve frissített szintvonalrajz lehet az elérhető állomány. Fontos megjegyezni, hogy a felújítás során törekedtek az új domborzatfelmérés elkerülésére, ezért az ún. Komplex Utasításban<sup>6</sup> és T.I.-ben<sup>7</sup> meghatározott mérésekkel bizonyítva a szintvonalak metrikus megbízhatóságát, azok jellemzően átvételre kerültek (TÓTH J. et al. 1999). Ez alapján feltételezhető, hogy a domborzatra vonatkozó topográfiai felmérés még régebbre nyúlhat vissza.

A terepi munka során differenciál GPS-szel végzett mérések eredményei a DDM-ek magassági értékeivel kerültek összevetésre. Báta esetében a Dél-Baranyai-dombság peremére állított bázisról összesen 16 pontban került sor a magasság meghatározására. Dunaföldváron nehezebb volt a kívánt mérési pontosság elérése a sűrűbb városi beépítettség és az ismert koordinátájú és magasságú pontok megközelíthetősége miatt. Ennek ellenére 25 pont esetében sikerült magassági mérést végezni. A TopSURV feldolgozó program jelentése alapján a mérések horizontális és vertikális pontossága 2,5 cm alatt maradt.

A terepbejárás során a 3. ábrán jelölt területek alaposabb vizsgálat alá estek, bizonyos esetekben észlelhető volt az eltérés a valóság és a topográfiai térkép között. A domborzati sajátosságokat és a megállapított különbségeket, valamint azok lehetséges okait az 1. táblázat foglalja össze.

<sup>6</sup> Komplex utasítás az 1:10 000 méretarányú topográfiai térképek készítéséhez (ÁFTH 1966)

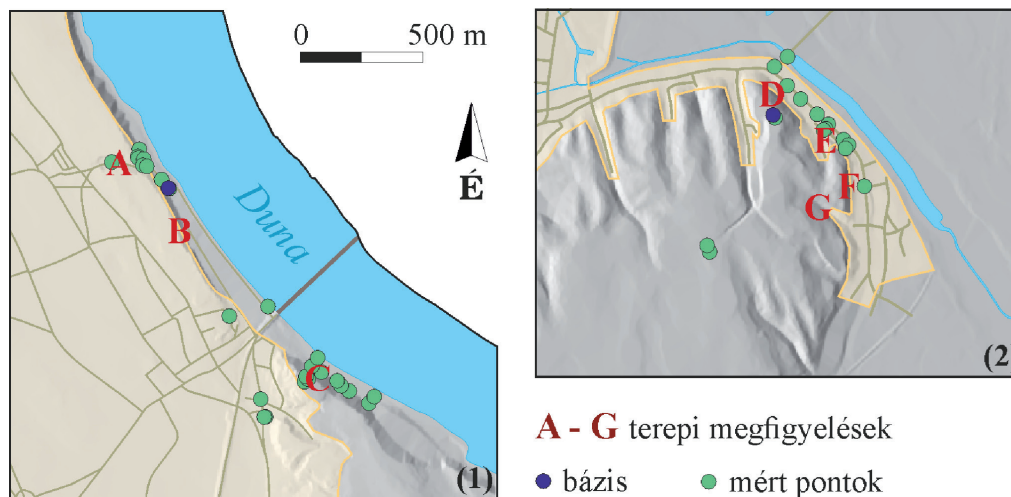
<sup>7</sup> T.I. Szabályzat az 1:10 000 méretarányú földmérési topográfiai térképek felújítására az egységes országos térképrendszerben (MÉM OFTH 1976)

3. ábra. A terepen végzett mérések helyszínei és a részletesen vizsgált magaspartfal szakaszok (szerk. FÖMI DDM-5 állomány felhasználásával Józsa E.).

1 = Dunaföldvár, 2 = Báta

Fig. 3. Parts of studied bluffs in detail and locations (A-G) of field measurements (ed. Józsa, E. using FÖMI DDM-5).

1 = Dunaföldvár, 2 = Báta



1. táblázat. A valós domborzat jellegzetességei és a topográfiai szelvényeken megfigyelt különbségek (szerk. Józsa E.).

Table 1. Observed differences between topographic maps and characteristics of the real surface (ed. Józsa, E.).

	Megfigyelt jellemzők	Megjegyzés
A	az utca felső szakaszán a pincék stabil területen; lejjebb omlások; a völgy alsóbb szakaszán két szint	hiányzik az áterasz, tereplépcső jelölése – térkép felújítása után keletkezhetett, méretarányhoz képest elhanyagolható horizontális és vertikális terjedelmű
B	falszerű, igen meredek és omladékos, kevésbé meredek lejtők váltakozása; lakóépületek háttérben stabilizált lejtők	térképi jelölésből nem egyértelmű a lejtők változása – jelölés nehézsége
C	omladékos, ill. középső szakaszukon meredekebb lejtők	csuszamlás után a partfal átalakulása nem vehető ki a térképről – jelölés nehézsége, feltételezhető későbbi mozgások miatti egyszerűsítés
D	lejtő alja igen meredek, közel függőleges szakaszok	tereplépcső jelölés lenne szükséges szintvonalak helyett – későbbi antropogén beavatkozás következménye
E	a templom egy korábbi csuszamlás halmazára épült	a terület háttérben található tereplépcső jel és az előtérben húzódó ellentétes hajlású szintvonalak utalnak az egykori a tömegmozgásra
F	a dombágperem előtt kialakított rövid utca, a Fő utcánál magasabb szinten; háttérben meredek, de nem falszerű lejtő; támfal mögül a löszös területről származó vizek kivezetése kifolyókkal	kettős tereplépcső jelölés túl komplikált, más jellegű formára utal
G	az utca felső szakaszán meredek fal pincékkel	a jelölés megfelelően utal a valós formára

Összességében ezek az eltérések a geomorfometriai vizsgálatokból levonható következtetéseket nem befolyásolják jelentősen (pl. a mezőgazdasági kategóriák szerint újraosztályozott lejtőszög-térkép esetében ugyanabba a kategóriába sorolódna a cellák).

### A DDM-5 jellemzői a mintaterületeken

A dunaföldvári mintaterületen 92 m-esek a legalacsonyabb Duna-parti és 150 m-esek a legmagasabb Kálvária környéki cellák a DDM-en. Ez egyezik a szintvonalak alapján meghatározható értékekkel.



A modellen megjelenik a hídhoz vezető töltés, ennek azonban inkább a hidrológiai modellezésekben van nagyobb jelentősége. A záródó vagy visszaforduló szintvonalaknál sík felszín alakult ki, amelyek a lejtőszög térképen is megfigyelhetők. A legnagyobb lejtőszög érték a területen  $59,46^\circ$ . A partfal és a déli terület meredek falú völgyei jól kirajzolódnak a  $35^\circ$ -nál meredekebb lejtők megjelenítésével. A DDM-ről készített keresztmetszetek alapján megállapítható, hogy a magaspart meredeksége nem éri el a valóságban megfigyelhetőt, a Mély út esetében a völgy alakja pedig jelentősen eltér annak terepi megjelenésétől. A partfal mentén továbbá megfigyelhetők fűrészfogszerű kiugrások, amelyek a szintvonalak futása alapján meglepőek és nem jelölhetnek valós terepi formákat. A mintaterületről reliefenergia-térkép is készült, amely arról szolgáltat adatokat, hogy 15 m-es illetve 50 m-es cellák területén mekkora relatív magasságkülönbségek vannak. A kisebb cellaméret esetében 21,56 m-es a legnagyobb különbségérték, a partfal meredekebb részein pedig mindenhol eléri a 10 m-t. Az 50 m-es cellák esetében 52,3 m a maximális relatív relief érték, ezt az Alsó-Öreghegy, azaz a mintaterület legmagasabb részénél éri el.

Báta esetében a modell legalacsonyabb pontja 84,5 m, ez megfelel a szintvonalrajznak. Legmagasabb pontja 173,75 m, tehát elmarad a vizsgálati terület legmagasabb pontjától (Csóka-hegy 175,6 m), ebből megállapítható, hogy az interpolálás során nem vették figyelembe a magassági pontokat. A DDM-be itt is beillesztették a töltéseket. A völgyek felső szakaszai, ahol a löszmélyút jelek miatt megszakadnak a szintvonalak, nem tükrözik a valós morfológiát: a domborzatprofilok alapján V keresztmetszetű, szűk völgyek találhatóak a modellen. A DDM-en szintén látszik fűrészfogszerű minta a dombságperem lábánál. A löszplató felszínén több síknak tűnő folt fedezhető fel, amelyek a lejtőszög térképeken valóban  $0^\circ$ -os területként határolhatóak le. A legnagyobb lejtőszög  $59,5^\circ$ , ehhez közeli értékű meredek lejtők a várt területeken jelennek meg: a dombság keleti peremén, illetve a löszplatóra felkúszó Széchenyi utcában. A DDM-ből nyert keresztmetszetekről megállapítható, hogy a terepen megfigyelttel ellentétben éppen a partfal alsóbb része enyhébb lejtésű. A területről szintén készült reliefenergia-térkép. 15 m-es cellákra számítva 19,6 m a legnagyobb relatív relief, 50 m-es cellák esetében 52,96 m-es maximum értékkel jelentkezik az ártéri és a dombsági térszín közötti jelentős magasságkülönbség.

A mintaterületek NVIZ-ben megjelenítve (2,5D) az 6. ábrán láthatóak.

### **Digitalizálás: a szintvonalrajz és az egyezményes domborzati jelek feldolgozása**

A DSZM (Digitális Szintvonal Modell) alkalmazása során tisztában kell lenni azzal, hogy annak alapja a nyomtatott térképnek készített 1:10 000 EOVP polgári topográfiai szelvények szintvonalrajza, mely esetében az ábrázolásának több szabálya létezik (Komplex Utasítás 1966, MÉLYKÚTI G. 2010), ami nyilvánvalóan meghatározza az abból előállított DSZM állományt is.

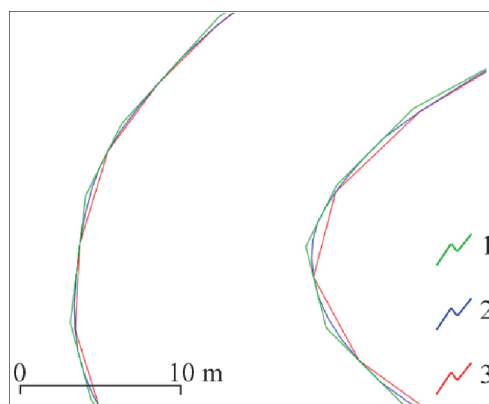
Az interpolálást megelőzően elengedhetetlen az elkészített vagy megvásárolt szintvonalas állomány alapos ellenőrzése. Gyakran előfordul – és a modellezés során durva hibákat eredményez – a szintvonalak magassági értékeinek téves rögzítése. Nagyobb terület esetében célszerű SQL lekérdezést végezni, így felderíthetőek azok a vonalak, amelyek értékei nem a várható tizedesekre végződnek. Megoldást jelent még a szintvonalak domborzatmodelleknél megszokott színskálával való megjelenítése. A megmaradó jelentősebb magassági eltérések pedig az interpolált modelltől vizuálisan szűrhetők ki.

A vektoros állomány ellenőrzése során érdemes megvizsgálni a vonalak térképi szintvonalakra való illeszkedését és a generalizáltság fokát. Amennyiben szükség van a vonalak simítására, szintvonalakra görbítésére a GRASS v.generalize eszköze, vagy az arra alapozott Generalizer QGIS bővítmény alkalmazható. Az egyes eljárások, több példával illusztrálva, részletesen szerepelnek az eszközök leírásában<sup>8</sup>. Jelen esetben a „Chaiken” módszer került alkalmazásra, amely az eredeti vonalat belülről írja körül. Ennek eredményeként azonban túl sok vertex keletkezett, a későbbi felhasználás érdekében ezek csökkentésre kerültek a bővítmény „Vertex Reduction” egyszerűsítési műveletével (4. ábra).

4. ábra. A szintvonalak módosításának eredménye a Generalizer bővítménnyel (szerk. JÓZSA E.).

1 = eredeti szintvonalak, 2 = „Chaiken” módszer eredménye, 3 = „Vertex Reduction” módszer eredménye (vertexek 5 m-enként)

Fig. 4. Result of the modification of contours with 'Generalizer' add-on (ed. JÓZSA, E.). 1 = original contours, 2 = 'Chaiken' method, 3 = result of 'Vertex Reduction' (distance between them 5 m)



A folytonos felszín létrehozása során előfordulhat, hogy a meredek lejtők, partfalak esetében a DDM-hez választott cellaméretben egy cellára több magassági érték jut, amelyek közül a módszer kiválaszt egyet, ezáltal hibás eredményekre vezet. Ehhez hasonló, ha az interpolációs eljárás nem vektoros vonalakként, hanem raszterre konvertálva kell a szintvonalas bemeneti fájlt megadni. A Kínai-löszfennsík esetében kutatók kidolgoztak egy összetett módszert<sup>9</sup> a probléma megoldására (XIE, K. et al. 2003), azonban célszerű lehet inkább a jelenség elkerülésére lépéseket tenni.

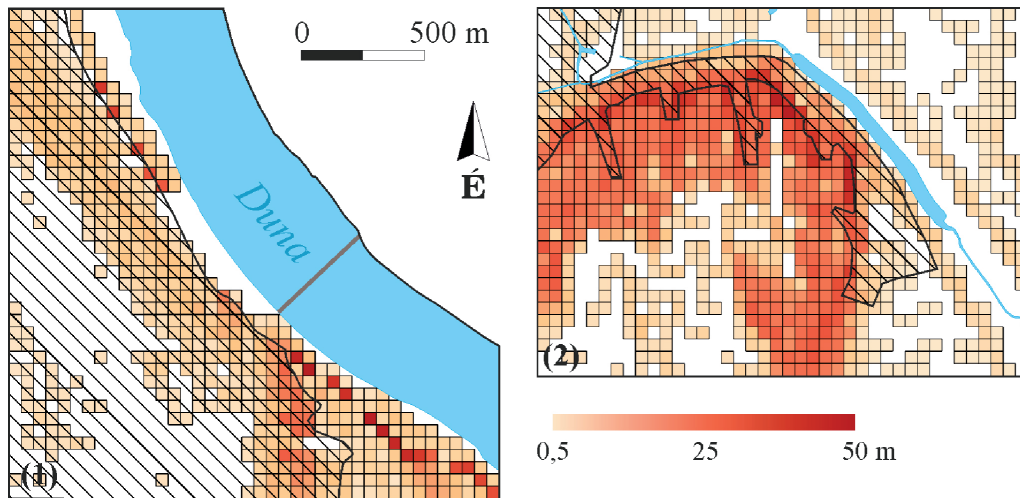
A szintvonalak alapján áttekintő információk szerezhetők a meredek lejtők elhelyezkedéséről, a vertexek távolságából pedig megállapítható, hogy az említett probléma mely vonalanknál jelentkezhet. Ahhoz, hogy szintvonalakból meghatározható legyen a relatív relief valamilyen felületre – ebben az esetben 50 m-es rácsháló négyzeteire, viszonyítva kell vizsgálni a magassági értékeket. Ez egyszerűen létrehozható a Research Tools vektoros eszközkészlet Vector Grid eszközével. Az adott négyzetre eső legalacsonyabb és legmagasabb szintvonal értékeket térbeli összekapcsolással (Data Management Tools – Join attributes by location) lehet az attribútum táblába tölteni, majd egy új oszlop létrehozásával és a Field calculator alkalmazásával elvégzett egyszerű kivonással megkaphatóak a keresett értékek (5. ábra).

<sup>8</sup> <http://users.ox.ac.uk/~orie1848/tutorial.html>, <http://www.gis-support.pl/generalizer/>

<sup>9</sup> A módszer lényege, hogy plusz információként eltárolják az egy cellán átfutó szintvonalak közül a legmagasabb és legalacsonyabb értéket, illetve egy „irányjelzést”, amely az interpoláció során egyértelműsíti, hogy az alacsony vagy magas területek interpolációja során a meredek lejtő környékén található cellák magasságának meghatározásához melyik értéket vegye figyelembe az eljárás.

5. ábra. A szintvonalak alapján számított relief értékek (szerk. JÓZSA E.). 1 = Dunaföldvár; 2 = Báta

Fig 5. Relief value was calculated by contours (ed. JÓZSA, E.). 1 = Dunaföldvár; 2 = Báta



A szintvonalak közötti távolságot a vertexek számának csökkentése után előállított DSZM-en tudjuk meghatározni, hiszen ebben az esetben nem az egy vonalra eső töréspontokról kapunk információt. Ehhez a töréspontokat egy pont állományba kell exportálni (Geometry Tools – Extract Nodes), a pontoknak egy új oszlopban egyedi azonosítót adni, majd az Analysis Tools eszközkészlet Distance Matrix eszköze segítségével új attribútumként az adattáblába íratni az egyes pontok távolságát. Kijelölve a túl közeli vertexeket támponntul szolgálnak a szintvonalak utólagos szerkesztéséhez.

A FÖMI-től vásárolt vektoros állomány esetében fontos lépés még a domborzati jelek és a megszakadó szintvonalak felülvizsgálata. A legnagyobb problémát elsősorban a nagy szintkülönbségeket jelentő tereplépcső és partfal jelek okozzák, azonban a löszmélyutak esetében is törekedni kell a szintvonalak megfelelő berajzolására. Mivel a megoldások elsősorban a választott interpolációs eljárástól függenek, a további lépések később szerepelnek.

### Interpoláció

A GRASS, a felhasználók eredményes munkájának támogatása érdekében minden eszközehez részletes súgó oldalt, egyéb leírásokat tesz online elérhetővé. A szintvonalakból előállított DDM-ek kérdésköréhez kapcsolódóan a programban elérhető interpolációs eljárások összehasonlító vizsgálatát<sup>10</sup> is elkészítették. Jelen kutatás is az említett leírás alapján indult ki, az eredményesebbnek bemutatott módszereket alkalmazva. A modellezés kivitelezéséhez a szintvonalak GRASS-ba történő importálása az első lépés.

A módszerek közül kézenfekvő választás volt elsőként az `r.surf.contour` alkalmazása, hiszen ahogy a neve is mutatja éppen a szintvonalakból történő DDM előállításra dolgozták ki (NETELER, M. – MITASOVA, H. 2008). Ebben az esetben a szintvonalak raszterizálása lett volna az egyetlen előkészítő lépés, azonban a tapasztalatok alapján a dunaföldvári magaspart esetében szükség volt a magas szint legalacsonyabb és az alacsony szint legmagasabb értékével a partfal vonalának környezetében két szintvonal behúzására. Fontos kiemelni, hogy az eljárás összefüggő szintvonalak esetében szolgált

<sup>10</sup> [http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Contour\\_lines\\_to\\_DEM](http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Contour_lines_to_DEM)

megfelelő kimenetet, mivel lineáris interpolációt alkalmaz a folytonos felszín generálására. Hátránya, hogy alapvetően nincs lehetőség a tereplépcsők beépítésére. Az eredményezett modellen a megszakadó szintvonalak miatt szembeötlő hibák láthatóak, melyek a 2,5D megjelenítésben még feltűnőbbek. A lejtőkről elmondható azonban, hogy igen meredek, ezt a keresztmetszetek is alátámasztják.

Ehhez hasonlóan raszteres szintvonalakból végez interpolálást a „Natural Neighbor” (r.surf.nnbathy) eljárás. A módszer előnyei között említhető egyszerűsége, gyorsasága, és hogy viszonylag pontos modellt szolgáltat eredményül (TELBIŠZ T. et al. 2013). A hozzáférhető információkkal ellentétben a modellbe nem sikerült beépíteni a törésvonalakat<sup>11</sup>. A modelleket a „Non-Sibsonian Natural Neighbor” beállítással számítottuk. Az eredményül kapott felszínek megfelelnek a fejlesztő (SIECZKA, M. 2006–2008) által leírt jellemzőknek: a felszín kissé egyenetlen, kevesebb a hiba a megszakadó szintvonalaknál, viszont a záródó szintvonalak között megjelennek a sík felszínek<sup>12</sup>.

A bemutatott két modell közös tulajdonsága, hogy a raszter értékek hisztogramján jól megfigyelhető a szintvonalak értékeinek túltreprezentáltsága, a 2,5D megjelenítésben a lépcsőzetesség, a zárt szintvonalak közötti sík felszínek. Ezek a jelenségek a módszerek alapján várhatóak voltak, hiszen a felszínek áthaladnak a bemeneti pontokon. A jobb eredmények előállítását éppen a meredek lejtők, partfalak miatt megszakadó szintvonalak gátolják meg.

A mintaterületek domborzatmodelljének elkészítéséhez a „Regularized Spline with Tension” (v.surf.rst, RST) eljárás szintén alkalmazásra került, annak ellenére, hogy jellegéből adódóan nehezen kezeli a hirtelen magasságváltozásokat. Ez az eljárás azonban olyan sok beállítási lehetőséggel rendelkezik<sup>13</sup>, hogy mindenképpen szükséges volt a tesztelése. Alapvető eltérés a fent említett módszerektől, hogy a generált felszín nem követi pontosan a bemeneti pontokat, hanem a paraméterek függvényében illeszkedik. Ennek következtében, ha a „tension parameter” (amellyel szabályozható a raszter felszín ráfeszítése a pontokra) túl kicsi a hirtelen magasságváltozások környezetében eltúlozza az értéket, ha pedig túl nagy, akkor a magassági értékek körül bemélyedések jelennek meg. A domborzati viszonyok és a szintvonalrajz sajátosságai miatt az említett hibák megjelentek a dunaföldvári mintaterület esetében, ezért annak modellezésére előnyösebb választás a következő fejezetben leírt Lego-GIS<sup>®</sup> módszer. A bátai területen, MITAS, L. és MITASOVA, H. (2007) tanácsai alapján két lépésben elvégezve az interpolációt elfogadható eredményt sikerült elérni. Kihasnálva azt, hogy az egyes szintvonalaknak egyedi simítási paramétert is meg lehet határozni, erősebb ráfeszítéssel és a 99 m alatti és 150 m fölötti területeknél jelentősebb simítást alkalmazva került előállításra egy DDM. Erről az r.random eszközzel 1500 db kiegészítő magassági pontot nyertünk, mellyel egy homogénebb bemeneti adatállomány állt rendelkezésre a következő interpolációhoz<sup>14</sup>. A felszín jobban elsimított, a 2,5D

<sup>11</sup> Erre egy fórum hozzászólásban a fejlesztő, SIECZKA, M. is felhívja a figyelmet.

<sup>12</sup> <http://osgeo-org.1560.x6.nabble.com/r-surf-nnbathy-v-out-ascii-td4021242.html>

<sup>13</sup> Az eljárás és a paraméterek részletes leírása nem képezi jelen tanulmány részét, ehhez kapcsolódóan a következő szakirodalmak szolgáltatnak információkat: MITASOVA, H. – MITAS, L. 1993, MITASOVA, H – HOFIERKA, J. 1993, MITAS, L. – MITASOVA H. 1999, 2007.

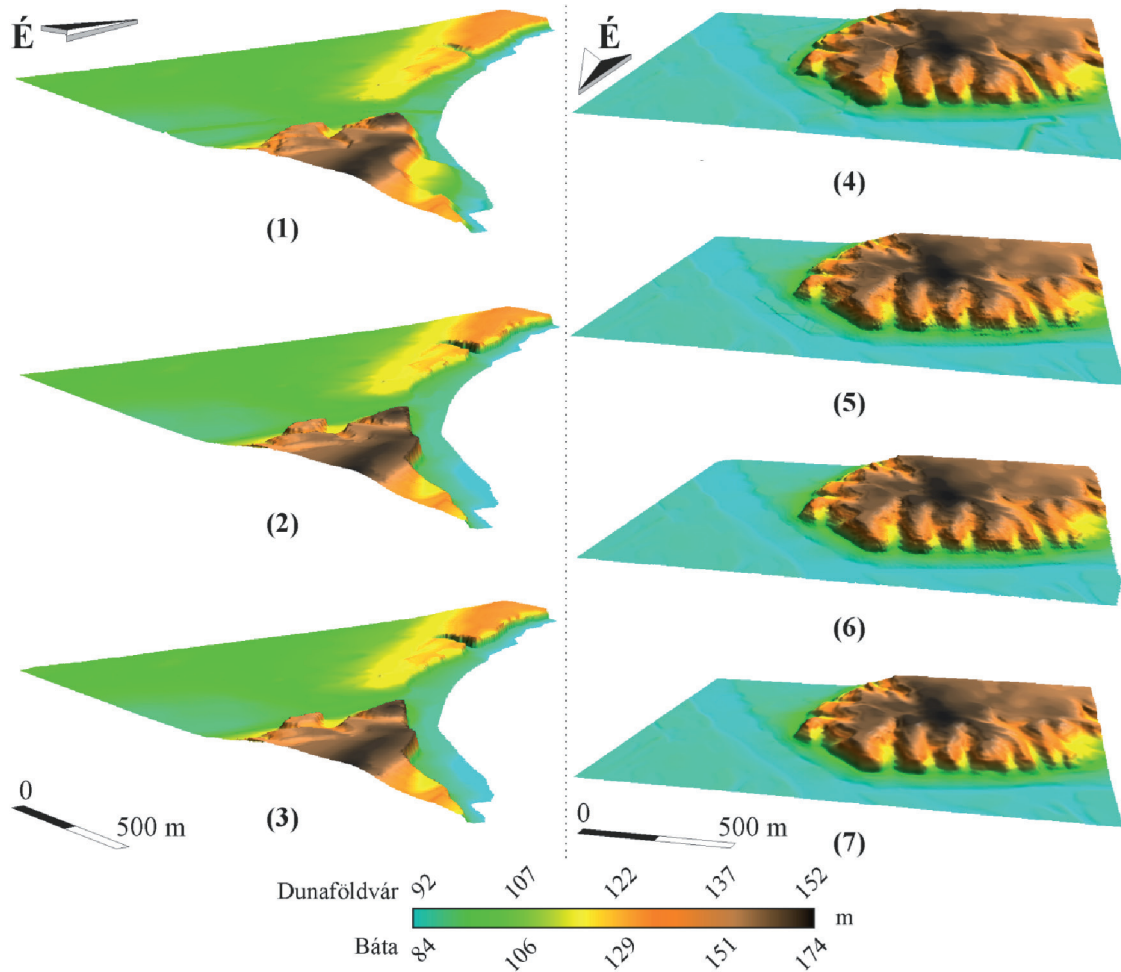
<sup>14</sup> Ennek kivitelezése röviden: a magassági pontok dbf állományának módosítása úgy, hogy ugyanazok az oszlopok legyenek benne, mint a szintvonalas fedvény esetében; a szintvonalak mentén a Generate points along lines (v.to.points) eszközzel 10 m-enként pontok létrehozása; a „Patch vector maps” (v.patch) eszközzel a két térképből egy olyan új fájl előállítása, amely tartalmazza a szükséges magassági információkat.



megjelenítés szebb, mint a fenti esetekben. Bár megjelenik a szintvonalak miatti enyhe teraszosság a magassági értékek hisztogramja mégsem fésűs.

6. ábra. A mintaterületekről készített domborzatmodellek NVIZ-ben megjelenítve (szerk. FÖMI DDM-5 és szintvonalrajz alapján szerkesztette JÓZSA E.). 1 = DDM-5, 2 = *r.surf.contour*, 3 = *r.surf.nnbathy* Dunaföldvár; 4 = DDM-5, 5 = *r.surf.contour*, 6 = *r.surf.nnbathy*, 7 = *v.surf.rst* Bába

Fig. 6. DEM's of study areas are displayed in NVIZ (ed. JÓZSA, E. based on FÖMI DDM-5 and contours). 1 = DDM-5, 2 = *r.surf.contour*, 3 = *r.surf.nnbathy* Dunaföldvár; 4 = DDM-5, 5 = *r.surf.contour*, 6 = *r.surf.nnbathy*, 7 = *v.surf.rst* Bába



### Lego-GIS® módszer alkalmazása

Az omlásfalak, magaspártok, szakadékok modellezésére BARTON G. (2004) egy olyan raszteres interpolációs eljárást közölt, amely egyszerűsége révén könnyen elvégezhető és GRASS-ra is minden nehézség nélkül adaptálható. A magassági viszonyok alapján az eljárás alkalmazására a dunaföldvári partfal szolgál megfelelő mintaterületül. Bár az említett szerző részletesen kifejti a munka menetét, itt is pontosan szerepelnek a lépések azért, hogy a használt szoftvereken is egyértelműen követhetőek legyenek.

A módszer lényege, hogy a magaspártok modellezése során a szakadásfront vonala mentén elválasztva egy magasabb és alacsonyabb – tehát a löszplatót és az árteret jelentő – felszínt illeszt össze egy DDM-be, így alakítva ki az azokat összekapcsoló igen meredek lejtőt.

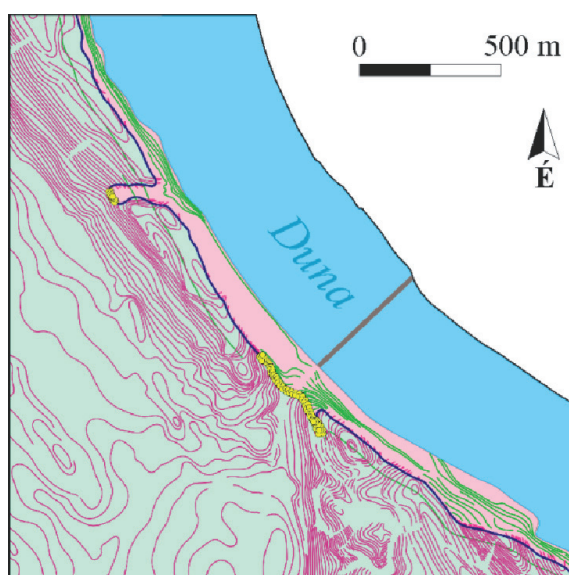
A korábbiakhoz hasonlóan a vektoros állományokon végzett lépések QGIS-ben valósultak meg. Az első feladat a fentiekből következően a vizsgálati terület azon részének kijelölése, ahol az eljárást alkalmazni akarjuk, úgy, hogy a szakadásfront vonala mentén elkülönítve létrehozzuk az „alacsony”



és „magas” területek poligonjait. A korábban felvett partfal vonala a Trace Edit eszköz (traceDigitize bővítmény) segítségével egyszerűen végigkövethető, ezzel is rövidítve a digitalizálás idejét és biztosítva, hogy a poligonok megfelelően illeszkedjenek. A szintvonalas állományból a poligonok alapján kijelölt és új fájlba mentett adatokból létre kell hozni a „magas” és „alacsony” területek szintvonalas fedvényét. Ezen kívül szükség van még a szintvonalas állományok további szerkesztésére is. A partfalhoz kifutó, azt metsző szintvonalakat a „magas” területen a metszéspontbeli irányban meg kell hosszabbítani, az „alacsony” terület esetében pedig – feltételezve, hogy a terület síkságként folytatódik – behúzni egy további szintvonalat a magaspárt alá<sup>15</sup>. Azokon a szakaszokon, ahol nincs partfal a hibák elkerülése végett szükséges a módosítás nélküli domborzatmodell magassági értékeivel rendelkező pontok felvétele. A pontok magassági attribútumának feltöltéséhez szintén rendelkezésre áll egy bővítmény, ez a Point sampling tool.

7. ábra. A „magas” (lila) és „alacsony” (zöld) területek szintvonalai és a kiegészítő magassági pontok (sárga) (szerk. FÖMI szintvonalrajz alapján JÓZSA E.).

Fig. 7. Contours of the 'high' (purple) and 'low' (green) surfaces and additional elevation points (yellow) (ed. JÓZSA E. based on FÖMI contours).



Ezt követően, a munka folytatásához az állományokat („magas” és az „alacsony” területek poligonjai és módosított szintvonalai, magassági pontok) importálni kell GRASS-ba. Mivel az „RST” interpoláló eszköz nem kezel több bemeneti állományt, így azért, hogy a kiegészítő magassági pontokat és a szintvonalakból képzett pontokat is figyelembe vegye, azokat egy közös pont típusú shapefile-ban kell elhelyezni. Az interpolációt a „magas” és az „alacsony” területekre egyaránt el kell végezni. A DDM-ekből a Raster Map Calculator segítségével, az alábbi logikai kifejezés<sup>16</sup> felhasználásával előállítható a végeredmény modell.

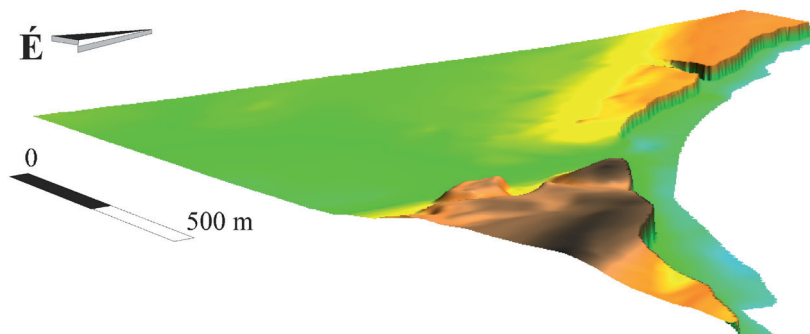
```
EREDMENY = isnull(alacsony_poligon@dunafoldvar_ddm) ? magas_ddm@dunafoldvar_ddm :
alacsony_ddm@dunafoldvar_ddm
```

<sup>15</sup> A Mély út esetében szükséges volt egy további szintvonal berajzolása, illetve az eltérés a partfal nyomvonalától, hogy az utca emelkedését megfelelően lehessen modellezni.

<sup>16</sup> A kifejezés megvizsgálja, hogy adott cella NULL értékű-e az „alacsony” terület poligonjának térképén, ha igen, a „magas” terület domborzatmodelljének értékét írja az új modellbe, ha nem az „alacsony” területét.

8. ábra. A Lego-GIS<sup>®</sup> módszerrel előállított DDM (szerk. JÓZSA E.)

Fig. 8. DEM produced by Lego-GIS<sup>®</sup> methodology (ed. JÓZSA, E.).



Az eredmény látványos: a partfal rendkívül meredek felszínként jelenik meg a 2,5D megjelenítésben és a modelltől készített keresztmetszeteken is. Nagyobb terület esetében viszonylag nagy előmunka igényű és nagy odafigyelést igénylő feladat az állományok előkészítése. A GRASS-ban végezhető lépéseket a „Graphical Modeler” használatával már modellbe lehetne foglalni, így automatizálni a folyamatot, megkönnyíteni különböző verziók gyors előállítását.

#### Az eredmények értékelése, összehasonlítása

Az előállított modellek validálásához rendelkezésre álló lehetőségek közül a magassági értékek eltéréseinek megállapítása, a domborzatról készített keresztmetszetek, a különböző vizuális megjelenítések mellett a lejtőszög és relatív relief derivátum-térképek vizsgálata tűnt a legalkalmasabbnak.

A terepi magasságmérések értékei alapján kiszámítható volt az átlagos hiba (ME) és négyzetes középhiba (RMSE) értéke (2. táblázat). Amint az várható volt, Dunaföldváron a magaspart mentén és a Mély út területén mért magasságok több esetben jelentősen eltértek az interpolált értékektől. A DDM-5 vizsgálata során kettővel több ilyen hibás magasság volt felfedezhető, amelyek a kevésbé meredek lejtőszögű partfal miatt jelentkeztek az ártéren. Ezeket a méréseket figyelmen kívül hagyva az átlagos hiba 2,4 méterre, a négyzetes középhiba 7,3 méterre csökkent a FÖMI modellje esetében. A bátai mintaterületen a mért pontok és az egyes DDM-ek magassági értékei között két esetben volt jelentős eltérés tapasztalható. Az egyik pont hibáját a holtágnál megszakadó szintvonalak eredményezték, míg a másik esetben a felszín rendezése a feltételezhető ok. Összességében a hibákat jellemző mérőszámok az egyes módszereknél nem igazán térnek el. Bár a legkisebb átlagos hibaérték az „RST” eljárással készült modellt jellemzi, ez inkább a módszer sajátosságainak (felszín „gumi-lepedő” jellege, „tüllövés”) következménye. A négyzetes középhiba érték a DDM-5 és a „Natural Neighbor” módszer eredménye esetében a legkisebb.

2. táblázat. A modellek hibáit jellemző mérőszámok a terepi mérések alapján<sup>17</sup> (szerk. JÓZSA E.).

Table 2. Based on field measurement, values characterised errors of models (ed. JÓZSA, E.).

	Dunaföldvár				Báta			
	DDM-5	„contour”	„nmbathy”	LEGO	DDM-5	„contour”	„nmbathy”	„rst”
<b>ME (m)</b>	3,1	1,7	1,7	1,8	1,4	1,3	1,3	1,2
<b>RMSE (m)</b>	17,1	3,3	3,2	3,9	2,3	2,4	2,3	2,4

<sup>17</sup> A mérőszámok kiszámításakor kihagyásra kerültek azok a kiugró hibák, amelyek egyértelműen magyarázhatóak a szintvonalas állomány vagy az interpolációs eljárás hiányosságaival.

A lejtőszög értékek a saját dunaföldvári modelleken néhány cellánál megközelítik a 80°-ot, elsősorban a magaspárt modellezésére alkalmazott kiegészítő módszerek miatt. A „Raster Contours” eljárás eredményeinek hibái a lejtőszög térkép alapján is szembetűnőek. A Lego-GIS<sup>©</sup> módszer eredménye esetében a partfal mentén mintegy szalagszerű a legmeredekebb lejtőszögű terület, míg a többi derivátum-térképen egy szélesebb, változó lejtőszögű sáv jelöli azt ki. A relatív relief tekintetében a 15 m-es cellákra meghatározott értékek vizsgálata releváns csak, azonban a térképről nem olvasható le meglepő információ. A legnagyobb értékek kicsivel maradnak 50 m alatt és az Alsó-Öreghegyhez kapcsolódó szakaszon helyezkednek el. A DDM-ekről készített keresztmetszeteken a partfal a várt éles töréssel jelenik meg. A Mély út esetében készített profilok a Lego-GIS<sup>©</sup> módszert mutatták a legjobbnak, a „Raster Contours” eljárással teljesen hibás lett a terület, a „Natural Neighbor” módszer pedig túl mély völgyet eredményezett, mivel nem megoldott a felszín emelkedése a völgyben.

A bátai mintaterület esetében nagyobb eltérések vannak a maximum lejtőszögek között. Ennek egyik oka a „Raster Contours” modellen előforduló hibák, másik pedig az „RST” által eredményezett simított felszín. A modellek hibái, sajátosságai ezen kívül a reliefenergia-térkép értékeiben is megmutatkoznak néhány kiugró értékű cellával. A dombtságperemet, völgyek oldalait alapvetően a 40°-nál meredekebb lejtők és az „RST” esetében 11 m-nél, a másik két modellen 15 m-nél nagyobb relatív relief értékek rajzolják ki. A domborzatról készített keresztmetszetek nagyon hasonlóak az egész mintaterületen, az „RST” eljárás azonban néhol magasabb, néhol alacsonyabb értékeket produkált.

## ÖSSZEGZÉS

A domborzatmodellezéshez szükséges állományok előkészítése és a modellezés folyamata során felmerülő problémák a felszín sajátosságaival összefüggésben és a kartográfiai ábrázolás korlátozott lehetőségeiből fakadóan, a modellezés felbontásával és a szintvonalas állomány vektor-raszter konverziójával kapcsolatosan jelentkeztek.

Áttekintve a DDM-5, valamint a szintvonalrajzból önállóan előállított modellek sajátosságait levonható a következtetés, hogy az ilyen területek domborzatmodelljeinek előállítása továbbra is kihívást jelent a raszteres interpoláló eszközök számára. A FÖMI termékének alkalmazásától a legnagyobb visszatartó erő a hazai kutatások költségvetéséhez viszonyítottan magas ára, illetve, hogy éppen a völgyek esetében nem tükrözi a valóságot. A „Raster Contours” eljárás eredménye alapján a módszer alkalmazása elvetendő ilyen jellegű domborzaton és szintvonalrajz mellett. A megjelenítés szempontjából választható az „RST” modell, azonban mérések végzésekor ügyelni kell a hangsúlyozott hátrányos tulajdonságokra. A tapasztalatok alapján a löszmélyutak és a meredek lejtők környezetében elhelyezett kiegészítő magassági pontok révén jelentős pontosságnövekedés érhető el. Az eredmények tükrében a „Natural Neighbor” módszerre érdemes figyelmet fordítani: viszonylag jól kezeli a megszakadó szintvonalak és a meredek lejtők problémáját, illetve a megadott magassági értékeket is pontosan követi.

Annak ellenére, hogy sem az elemzett formák, sem a bemeneti adatok előkészítése, sem a választott méretarányon történő interpolálás nem jelentenek igazán újdonságot, a kutatásnak mégis több jelentősége emelhető ki.

A tanulmány rávilágított, hogy a szabadon hozzáférhető térinformatikai szoftverek számos lehetőséget kínálnak mind a szintvonalas állományok szerkesztésére, mind a domborzat modellezésére. Közérthető módon taglalja a QGIS és GRASS GIS szoftverek használható eszközeinek alkalmazását. A bővítmények bemutatásával új lehetőségeket tár fel az olvasók, kutatók számára. Nem lehet elégszer hangsúlyozni, mennyire megkönnyíti a munkát, hogy a témában rengeteg információ hozzáférhető az interneten (leírások, blogok, fórum hozzászólások stb.), valamint, hogy a háttérben alkotó fejlesztői közösség folyamatosan újabb eszközöket tesz elérhetővé.

Felhívtuk a figyelmet a bemeneti fájlok körütekintő előkészítésére, a különböző interpolációs módszerek sajátosságaira, az adatok és módszerek kombinálásának lehetőségeire és szükségességére.

A kereskedelmi forgalomban kapható szintvonalrajz és modell alkalmazhatóságának, tulajdonságainak vizsgálatával újabb információkat tettünk hozzá a termékleírásokhoz.

A mintaterületek DDM alapú geomorfológiai vizsgálatának megkezdéséhez már jó alapot szolgáltathatnak a modellek, illetve hasonló jellegű felszínek modellezéséhez is segítséget adhatnak a leírtak.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A szerzők hálásak a két anonim bíráló megjegyzéseikért, amelyek segítettek a kézirat szakmai fejlesztését.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- BETTS, H. D. – DE ROSE, R. C. 1999. Digital elevation models as a tool for monitoring and measuring gully erosion. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 1. (2), pp. 91–101.
- CHAPLOT, V. 2013. Impact of terrain attributes, parent material and soil types on gully erosion. – *Geomorphology* 186. pp. 1–11.
- DEMEK, J. (ed.) 1972. *Manual of detailed geomorphological mapping*. Academia. Prague, 343 p.
- ENGLER P. – MÉLYKÚTI G. 2000. Az 1:10000 méretarányú topográfiai térképek domborzatának ellenőrzése új mérési eredmények felhasználásával, X. Országos Térinformatikai Konferencia, Szolnok
- FÁBIÁN SZ. Á. – KOVÁCS J. – SCHWEITZER F. – VARGA G. 2005. Természeti erő- és veszélyforrások. – In: PAP N. (szerk.): *Terület- és településfejlesztés Tolna megyében*. Babits Kiadó. Szekszárd, pp. 9–45.
- HENGL, T. – MACMILLAN, R. A. 2009. Geomorphometry – A Key to Landscape Mapping and Modelling. – In: HENGL, T. – REUTER, H. I. (eds.): *Geomorphometry – Concepts, Software, Applications*. – Elsevier, pp. 433–437.
- HERTELENDI E. – PETZ R. – SCHEUER GY. – SCHWEITZER F. 1991. Radiokarbon koradatok a Paks-Szekszárdi süllyedék kialakulásához. – *Földrajzi Értesítő* 38. (3–4) pp. 319–324.

- HUTCHINSON, M. F. – GALLANT, J. C. 2000. Digital Elevation Models and Representation of Terrain Shape. – In: WILSON, J. P. – GALLANT, J. C. (eds.): *Terrain Analysis: Principles and Applications*. –Wiley, New York, pp. 29–50.
- KASAI, M. – IKEDA, M. – ASAHINA, T. – FUJISAWA, K. 2009. LiDAR-derived DEM evaluation of deep-seated landslides in a steep and rocky region of Japan. – *Geomorphology* 113. (1–2) pp. 57–69.
- V. KÁPOLNÁS M. 2004. Károk és haszonvételek. Érvék, ellenérvék és az ármentesítés valósága Bátán a 18–19. században. – In: *Wosinsky Mór Megyei Múzeum Évkönyve XXVI. Szekszárd*, pp. 325–349.
- KLEB B. – SCHWEITZER F. 2001. A Duna csuszamlásveszélyes magaspartjainak településkörnyezeti hatásvizsgálata. In: *Magyarország az ezredfordulón – Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián. Műhelytanulmányok (sorozatszerk.: GLATZ F.): Földtudományok és a földi folyamatok kockázati tényezői (összeállította: ÁDÁM A. – MESKÓ A.)* MTA, Budapest, pp. 169–193.
- Komplex utasítás az 1:10 000 méretarányú topográfiai térképek készítéséhez (ÁFTH 1966)
- KOVÁCS J., FÁBIÁN SZ. Á., VARGA G., ÚJVÁRI G., VARGA GY., DEZSŐ J. 2011: Plio-Pleistocene red clay deposits in the Pannonian basin: A review. – *Quaternary International* 240. (1–2) pp. 35–43.
- LÁNG S. 1957. Természeti földrajzi tanulmányok a Sárköz környékén. – *Földrajzi Értesítő* 6. (2) pp. 137–154.
- LEÉL-ŐSSY S. 1953: Geomorfológiai megfigyelések Baja és Bátaszék vidékén. – *Földrajzi Közlemények* 77. (1–2) pp. 101–114.
- LERNER J. 1991. Térképészeti alapismeretek: Földrajz és földtudományi szakos hallgatók számára. Tankönyvkiadó, Budapest. 240 p.
- LÓCZY, D. – BALOGH, J. – RINGER, Á. 1989. Landslide hazard induced by river undercutting along the Danube. – *Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 2. pp. 5–11.
- LÓCZY, D. – FÁBIÁN, SZ. Á. – SCHWEITZER, F. 2008. River action and landslides in Hungary. In: BASU, S. R. – De S. K. (eds.) *Issues in Geomorphology and Environment ABC*, Kolkata, pp. 1–15.
- MITAS, L. – MITASOVA, H., 1999. Spatial interpolation. – In: LONGLEY, P., GOODCHILD, K. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D.W. (eds.), *Geographical Information Systems: Principles and Technical Issues*. Wiley, New York, pp. 481–492.
- MITASOVA, H. – MITAS, L. 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation. – *Mathematical Geology* 25., pp. 641–655.
- MITASOVA, H. – HOFIERKA, J. 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis. - *Mathematical Geology* 25., pp. 657–667.
- NELSON, A. – REUTER, H. I. – GESSLER, P. 2009. DEM Production Methods and Sources. – In: HENGL, T. – REUTER, H. I. (eds.): *Geomorphometry – Concepts, Software, Applications*. – Elsevier, pp. 65–86.
- NETELER, M. – MITASOVA, H. 2008. Spatial Interpolation and Approximation. – In: NETELER, M. – MITASOVA, H. (eds.): *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*. Springer. pp. 230–248.
- PÉCSI M. 1993. Negyedkor és löszkutatás. – *Elmélet – Módszer – Gyakorlat* 54. Akadémiai Kiadó, Budapest, 375 p.
- REUTER, H. I. – HENGL, T. – GESSLER, P. – SOILLE, P. 2009. Preparation of DEMs for Geomorphometric Analysis. – In: HENGL, T. – REUTER, H. I. (eds.): *Geomorphometry – Concepts, Software, Applications*. – Elsevier, pp. 87–120.



- SU, Z. – XIONG, D. – DONG, Y. – LI, J. – YANG, D. – ZHANG, J. – HE, G. 2013. Simulated headward erosion of bank gullies in the Dry-hot Valley Region of Southwest China. – *Geomorphology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.033>
- T.I. Szabályzat az 1:10 000 méretarányú földmérési topográfiai térképek felújítására az egységes országos térképrendszerben (MÉM OFTH 1976)
- TANARRO, L. M. – MUÑOZ, J. 2012. Rockfalls in the Duratón canyon, central Spain: Inventory and statistical analysis. – *Geomorphology* 169–170. pp. 17–29.
- TÓTH J. (témavezető) 1999. Az EOTR 1:10 000 méretarányú földmérési topográfiai térképek 1975–1999. között végzett felújítási program eredményeinek rendszerezése és elemzése. 117 p.
- VEREGIN, H., 1999. Data quality parameters. – In: LONGLEY, P., GOODCHILD, K.F., MAGUIRE, D.J., RHIND, D.W. (eds.), *Geographical Information Systems: Principles and Technical Issues*. Wiley, New York, pp. 177–189.
- WINKLER P. 2007. Magyarország digitális ortofotó programjai és az 1:10 000 országos vektoros adatbázis. In: TÓTH T. – TÓTH G. – NÉMETH T. – GAÁL Z. (szerk.): *Földminősítés, földértékelés és földhasználati információ*. MTA TAKI, Keszthely – Budapest, 161–168.
- XIE, K. – WU, Y. – MA, X. – LIU, Y. – LIU, B. – HESSEL, R. 2003. Using contour lines to generate digital elevation models for steep slope areas: a case study of the Loess Plateau in North China. – *Catena* 54., pp. 161–171.

### Elektronikus források

- ArcGIS – Comparing interpolation methods. [http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Comparing\\_interpolation\\_methods/009z000000z4000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Comparing_interpolation_methods/009z000000z4000000/)
- BARTON G. 2004. Lego-GIS® - Raszteres terepmodellek építése. – *HUNDEM Konferencia*, 2004. november 11–12., Miskolc. [http://www.geo.u-szeged.hu/~papesz/pubs/barton\\_gabor-legogis.pdf](http://www.geo.u-szeged.hu/~papesz/pubs/barton_gabor-legogis.pdf)
- Contour lines to DEM tutorial. [http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Contour\\_lines\\_to\\_DEM](http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Contour_lines_to_DEM)
- FÖMI DDM-5 termékleírás. <http://fomi.hu/portal/index.php/termekeink/domborzat>, [http://www.geoshop.hu/images/static/ELK-DDM-5\\_Termek\\_ismerteto.pdf](http://www.geoshop.hu/images/static/ELK-DDM-5_Termek_ismerteto.pdf)
- FÖMI szintvonalrajz termékleírás. <http://fomi.hu/portal/index.php/termekeink/szintvonalrajz>
- Generalizer bővítmény leírás. <http://www.gis-support.pl/generalizer/>
- GRASS GIS Integration. [http://www.qgis.org/en/docs/user\\_manual/grass\\_integration/grass\\_integration.html](http://www.qgis.org/en/docs/user_manual/grass_integration/grass_integration.html)
- GRASS GIS Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/GRASS\\_GIS](http://en.wikipedia.org/wiki/GRASS_GIS)
- KIRÁLY G. 2004. Domborzatmodellek előállításához felhasználható forrásadatok összehasonlító vizsgálata. – *HUNDEM Konferencia*, 2004. november 11–12., Miskolc. <http://www.uni-miskolc.hu/~fkt/hudem/Cikkek/Kiraly%20Geza.pdf>
- KOVÁCS J. 2003. Vörösgyagok geomorfológiai helyzete és kora a Kárpát-medencében. – *Közlemények a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetének Természetföldrajz Tanszékéről* 24. pp. 1–18., [http://foldrajz.ttk.pte.hu/tgt/web\\_kozlemenyek/kozl24/pte\\_termeszetfoldrajzi\\_kozlemenyek24.pdf](http://foldrajz.ttk.pte.hu/tgt/web_kozlemenyek/kozl24/pte_termeszetfoldrajzi_kozlemenyek24.pdf)

- MÉLYKÚTI G. 2007. Topográfiai adatbázisok - BSc - 2007, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, BMEEOFTASJ3 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére. <http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTASJ3/asj3segedlet.pdf>
- MÉLYKÚTI G. 2010. Topográfia 4.: Domborzattan I. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027\\_TOP4/index.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TOP4/index.html)
- MÉLYKÚTI G. 2010. Topográfia 5.: Domborzattan II. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027\\_TOP5/index.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TOP5/index.html)
- MÉLYKÚTI G. 2010. Topográfia 10.: Topográfiai felmérés munkamenete. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027\\_TOP4/index.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TOP4/index.html)
- Quantum GIS 1.8. Documentation. <http://qgis.org/api/1.8/>
- SIECZKA, M. 2006-2008. r.surf.nnbathy. <http://www.sieczka.org/prog/grass/r.surf.nnbathy.html>, <http://osgeo-org.1560.x6.nabble.com/r-surf-nnbathy-v-out-ascii-td4021242.html>
- TOZ, G. – ERDOGAN M. 2008. DEM (Digital Elevation Model) production and accuracy modeling of DEM's from 1:35 000 scale aerial photographs. [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1\\_pdf/133.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/133.pdf)
- v.generalize tutorial. <http://users.ox.ac.uk/~orie1848/tutorial.html>