

Lego-GIS[©] – Raszteres terepmodellek építése

Barton Gábor

**Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék
6725 Szeged Egyetem u. 2-6.**

Abstract

Ahhoz, hogy terepmodellről beszélhessünk több feltételnek is teljesülnie kell. Meg kell jelenüük a mesterséges objektumoknak, kisebb kiterjedésű természetes formáknak és megfelelően finom felbontással kell rendelkeznie a modellnek. A felbontás természetesen függ az ábrázolni kívánt terep nagyságától, mivel azonban legtöbbször kisebb területekről van szó, így a terepi objektumok mérete fontosabb kritérium is lehet a felbontás meghatározásakor. Általánosságban elmondható, hogy tíz méternél durvább felbontás esetén nagyon ritkán jelennek meg (nagyobb épületektől eltekintve) olyan objektumok, amelyeknek egy terepmodellel mindenképp szerepelni kell. Ilyen finomságú DTM-ek készítésére már több nagy pontosságú és hatékonyságú eszköz érhető el (LIDAR, radar, stb.), amelyek használata azonban csak olyan munkákhoz kifizetődő, amelyekben nagyobb területről kell adatokat felvenni. Egy-egy kis kutatási mintaterület esetében viszont aránylag igen nagy költséget jelent ilyen módszerek alkalmazása, vagy ilyen technikákkal felvett adatok megvásárlása. Éppen ezért a jelen tanulmány célja olyan módszerek bemutatása, amelyek „hétköznapi” GIS szoftverekben elérhető funkciók segítségével küzdik le a terepmodell-építés problémáit.

Bevezetés

A raszteres interpoláción alapuló domborzatmodellek (DDM) alkalmazhatóságát erősen csökkentik az a tulajdonságuk, hogy önmagukban nem képesek hirtelen felszínváltozások megjelenítésére. A hagyományos interpolációs algoritmusok legnagyobb része inkább a görbületek (curvature) csökkentésére törekszik, ami az esetek egy részében járható is. Itt olyan felszínekre kell elsősorban gondolni, amelyek nem valós domborzatot, hanem pl. talajvízszintet (geológiai zavaró tényezőktől eltekintve), potenciálfelületet, vagy más matematikai módszerekkel számított felületet reprezentálnak.

Domborzatmodellek, és még inkább terepmodellek esetében azonban felléphetnek olyan körülmények, amelyeknél nem vezet valósághű eredményre a minél folytonosabb felszínre való törekvés. Ezek közé tartoznak többek között a következők is:

- bányagödrök, bányaudvarok;
- partfalak, magaspartok;
- vízmosások, löszmélyutak;
- gátak, töltések, egyéb mesterséges objektumok.

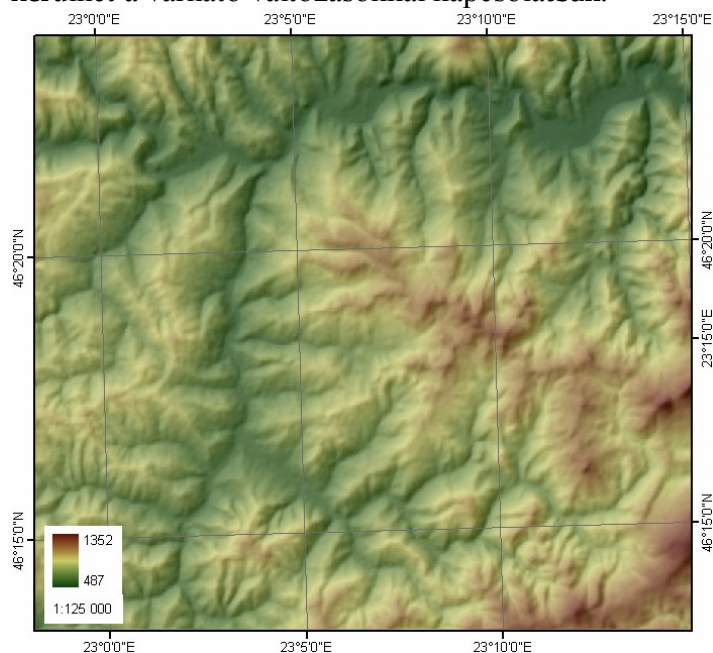
A problémafelvetés önmagában talán feleslegesnek tűnhet, hiszen a mesterséges, szakadásos formák modellezésére igen jó módszer a TIN-ek alkalmazása. Ez valóban így van, viszont a TIN modellek esztétikailag nem olyan „szépek”, mint a raszteres DDM-ek. Sok bennük a törés, nagyon erősen látszanak a háromszögek élei, ha pedig műholdképet vagy légifotót alkalmazunk textúráként, az is meglehetősen szögletes lesz. Ilyen megfontolások alapján már érdemes meggondolni, hogy egy raszteres modellbe illesztett „TIN-darabka” sokkal szebb lát-

ványt és realisztikusabb modellt eredményezhet. Ráadásul a TIN modellekkel, ill. a következőkben bemutatandó módszerekkel kiegészített raszteres DTM-ekben pontosan definiálhatók a sík területek, amelyeknek valóban 0 lesz a lejtésük, míg ha csak az interpolációs DDM-et alkalmazzuk, ez a legritkább esetben fordul elő.

A következőkben néhány olyan technikát mutatok be, amelyek segítenek a fenti problémák kiküszöbölésében. Végrehajtásukhoz minden esetben ESRI Arc/INFO, ArcView (Spatial és 3D Analyst) szoftvereket használtam. Az ismertetőben ezért ESRI terminológia és függvények találhatók, ám ezek minden bizonnyal könnyen átfordíthatók lesznek más szoftverkörnyezetre is. A módszerekre jellemző, hogy elsősorban finomabb (legfeljebb 5-10 méteres) felbontású DTM-ek esetében alkalmazhatók legelőnyösebben. Természetesen a felbontást az ábrázolni kívánt alakzatok mérete is erősen befolyásolja.

1. Bányagödrök, meddőhányók

Külszíni bányászathoz igen fontos előkészület a környezeti hatásvizsgálat elkészítése, amely jobb esetben a tájképpel ill. bányászatot követő rekultivációval kapcsolatos kérdésekkel is foglalkozik. Az ilyen elemzések, scénáriók egyik hatékony eszköze a terület bizonyos időpontokban felvett virtuális terepmodellje, amelyek különböző állapotaiban képesek szemléltetni a terepviszonyokat, növényborítottságot. Teszik mindezt olyan jól látható és közérthető, azonnal interpretálható módon, hogy a megrendelő, ill. az érintett lakosság egyszerűen képbe kerülhet a várható változásokkal kapcsolatban.



1. ábra Verespatak és környéke DDM (25 m, ESRI ArcGIS)

Példaként a 2003-ban jelentős hazai és nemzetközi visszhangot kiváltó Verespatak környéki tervezett újabb bányákat mutatnám be. A térség az erdélyi Aranyégyszög leghíresebb és legnagyobb tartalékokkal rendelkező nemesfém telepe, amelyet már a rómaiak előtti időkben is bányásztak. Ők még főleg tárnákkal, mélyművelési módszerekkel nyerték ki az aranyat. Egy kanadai-román cég¹ azonban külszíni bányászatot kezd meg; elképzelései szerint 2016-ra négy nagyobb bányagödröt, négy meddőhányót és egy kb. 270 ha területű zagytározót alakítanak ki.

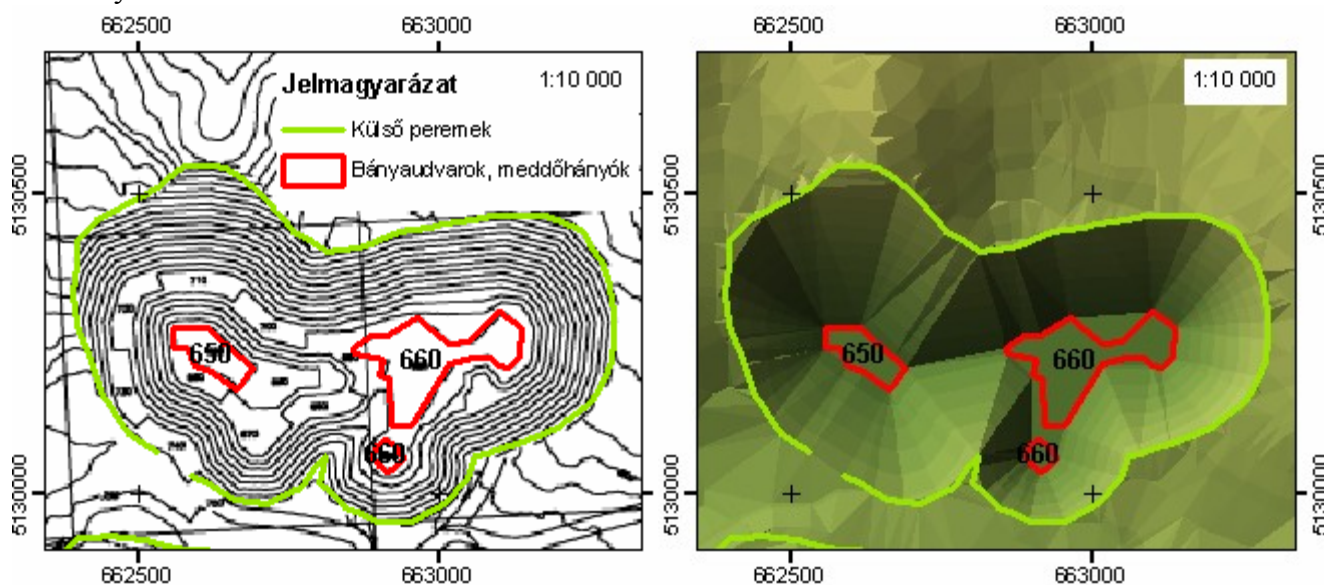
A jelenlegi domborzatot az 1. ábrán látható, 90 méteres SRTM adatokon alapuló modell mutatja be, amelyet kicsit „felfűjva”, finomabb (25 m) felbontással alkalmaztam. „Felfűjás” alatt a modell újragenerálását értem, mégpedig az SRTM-ből számított szintvonalak alapján, amelyeket a jellemző hibáktól kézzel megszabadítottam. Így egy kicsit kevésbé szögletes, kisebb

¹ <http://www.gabrielresources.com/s/Home.asp>

cellaméretű, főképpen pedig *nem csak egész értékeket tartalmazó* modell állt elő, amely természetesen nem tartalmaz az eredetihez képest plusz információkat.

A következő lépés a bányák digitalizálása volt (2. ábra, bal oldal), amit úgy kellett végrehajtani, hogy az alakzatokból TIN-t lehessen készíteni. E lépéshez a *Gabriel Resources* honlapján talált jelentésben² szereplő tervezett alaprajzot használtam. A TIN készítés „rákfenéje”, hogy nem annyira a szintvonalakra épül, hanem inkább a speciális formák, objektumok (lehetőleg Z-értékkel rendelkező) határait veszi figyelembe. Így tehát a meddőhányók tetőszinti peremeit, bányaudvarok alsó szintjét (2. ábra, vörös) adott magasságú poligonokkal kell reprezentálni, hiszen e felszínek vízszintesnek mondhatók. Az így megrajzolt alakzatokhoz olyan attribútumot is adtam, amely definiálja a típusát (bányagödör, meddő, stb.). Ez azonban még kevés, hiszen pl. a külszíni fejtések oldala nem függőleges, hanem egyenletesen lejt befelé. A külső peremek (2. ábra, zöld) pedig már nem vízszintesek, hanem a terep magasságát követik. Ezért tehát a 3D Analyst *Interpolate 3D Line* eszközével kell megrajzolni a külső peremeket úgy, hogy a magassági adatokat az eredeti DDM-ből vegyék fel az objektumok.

A peremek megrajzolása után minden olyan szintvonalszakaszt el kell távolítani, amely a befolyásolt területre esik. Így lehetővé tesszük a 3D Analyst számára, hogy a megrajzolt 3D és 2D peremeket közvetlenül kösse össze háromszögekkel, s így létrejönnek a kívánt lejtős falú mélyedések.



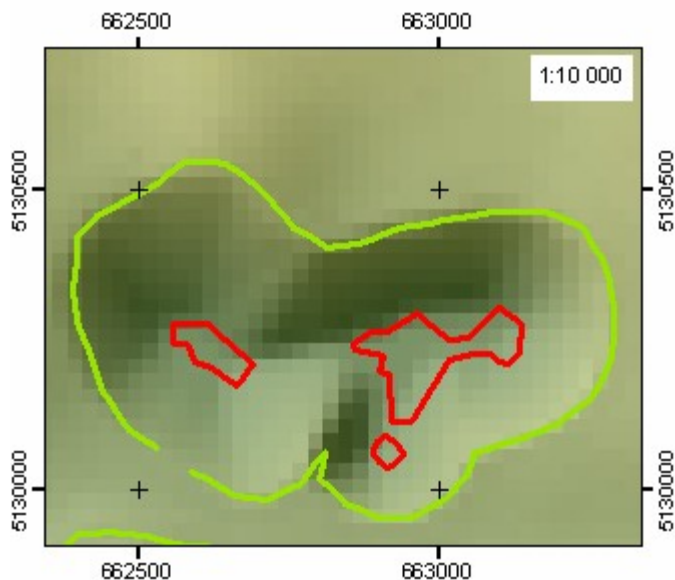
2. ábra A Verespatak falu területére tervezett gödör alaprajza a vektorizált poligonokkal, magassági értékekkel és TIN modellje (ESRI ArcGIS ArcMap)

A 2. ábra jobb oldalán jól látható a TIN modell „szépséghibája”: helyenként túl erősen látszanak az élek, a külső peremen pedig gyakran „fűrészfogas” megjelenés tűnik fel. Ez ellen hatásos segítség a raszterre való konverzió.

Mivel az eredeti SRTM-ből készül DDM 25 méteres felbontású, ilyen finomságú rasztert kell készíteni a TIN meghatározott részeiből. A lehatárolás egy poligonon történik, amely maszkként szolgál a konverzióban. A maszk által lefedett területeket raszteres aritmetikával illeszthetjük be a DDM-be.

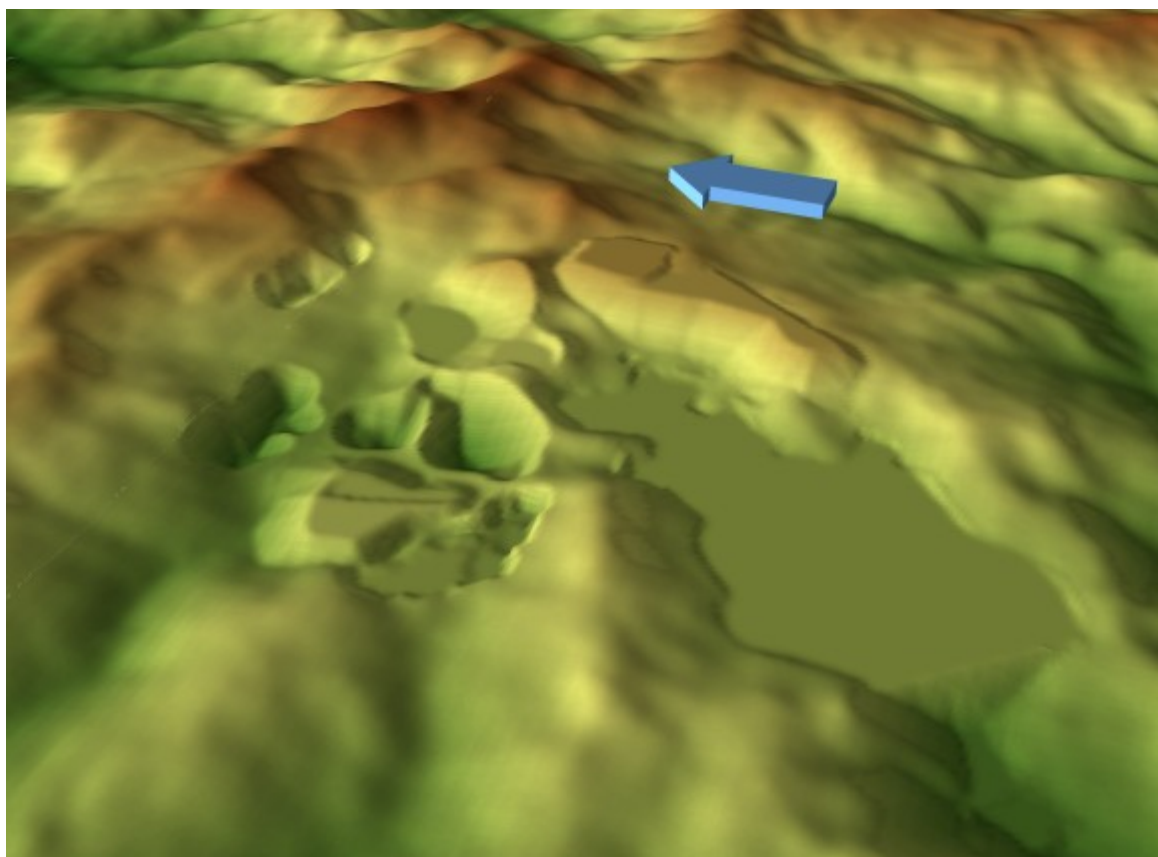
² <http://www.gabrielresources.com/i/pdf/IMCSummary.pdf>

A 3. ábrán a fent kiemelt bányagödröt láthatjuk raszteres formában, árnyékolt megjelenítéssel.

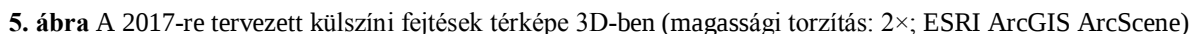


Igaz ugyan, hogy ekkora méretarányánál a 25 méteres felbontású DTM nem sokat mutat, de a módszer alkalmazása nem is ilyen ábrázoláshoz ill. felbontáshoz javasolt. A következő néhány ábra az ArcGIS ArcScene moduljában készült néhány képet mutat be a raszteres modellre illesztett textúrákkal. Az első képen (4. ábra) maga a DTM látható színskálával és árnyékolással, a másodikon (5. ábra) pedig a digitalizáláshoz használt tervrajz. Az északi irányt mindegyik ábrán a kék nyilak jelzik, a képek ESRI ArcScene-ben készültek.

3. ábra A TIN-raszter konverzió és beillesztés utáni modell (ESRI ArcGIS ArcMap)



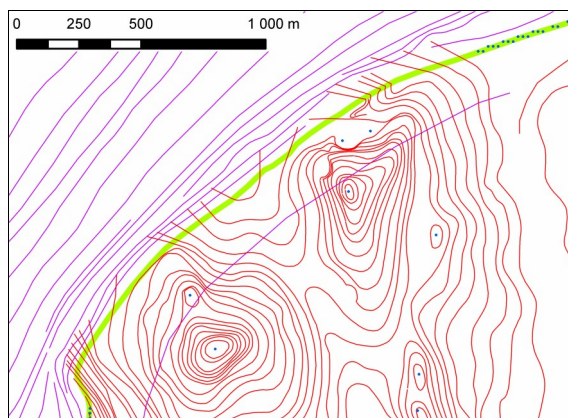
4. ábra Verespatak DTM a 2017 évi bányákkal, meddőhányókkal és zagytározóval (magassági torzítás: 2×; ESRI ArcScene)



Az alábbi módszer hosszasan kísérletezés eredményeképpen alakult ki. Először az egyszerű TIN megoldásra kellett gondolnom, ami alkalmas is a nem teljesen függőleges szakadékok modellezésére, a fent leírt módon. A tapasztalatok szerint azonban a függőleges és függőleges közeli (75-90°-os lejtésű) falakat a TIN modell sem tudja elég pontosan ábrázolni, ezért ezekhez külön trükköket kellett bevetni. E „varázslatok” az alábbi lépésekben foglalhatók össze.

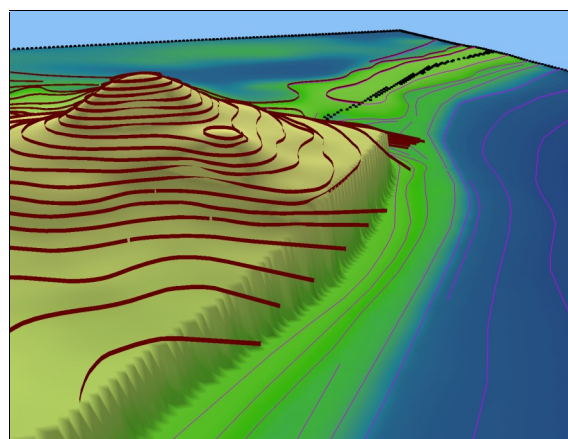
5

A modellezni kívánt terület határa mentén az eredeti, *módosítatlan DDM-ből számított magassági pontok* (7. ábra, kékkel) elhelyezése, hogy biztosítható legyen a két terület külső határvonalán a lehető legjobb egyezés a régi modellel. Ilyen pontokat minden *olyan határszakaszon fel kell venni, ahol nincs partfal, tehát a két részterület azonos magasságon illeszkedik*. Mivel e pontoknak mindkét területrészen szerepelniük kell, érdemes őket közvetlenül a korábban digitalizált magassági pontokkal együtt kezelni.



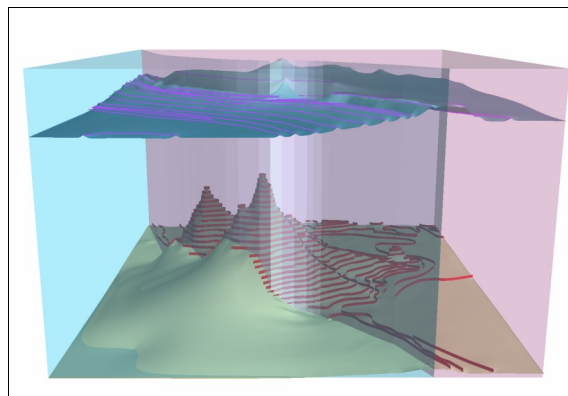
7. ábra A modellezéshez szükséges adatok (ArcMap)

A két terület szintvonalait *egymástól függetlenül*, külön állományban kell kezelni. Ez annyit jelent, hogy a „magas” területen (8. ábra, vörös) a szakadási vonalnál a metszéspontban található irányban továbbhúzzuk a szintvonalakat. Az „alacsony” területen (lila) pedig a „magas” alá behúzzunk még egy olyan kontúrt, azaz a „magas” terület által „elvágott” szintvonalat egészítjük ki. Ez a lépés talán „művészeknek” tűnhet, ha viszont a nem létező szintvonalakat valóban a potenciális domborzatnak megfelelően húzzuk (pl. a hegy nélküli állapotnak megfelelően), akkor elhanyagolható hibával lehet számolni.



8. ábra A szintvonalak megjelenése a két külön fedvényben (torzítás: 2×, ESRI ArcGIS ArcScene)

Mostantól kezdve jönnek a szép dolgok. Mindkét szintvonalas fedvényből külön-külön egy-egy domborzatot készítünk a műveletsor elején megrajzolt határokkal, azaz a két fedvény által lefedett egész területen. A DDM-ből vett magassági pontokat mindkét felszín készítésénél fel kell használni, hogy biztosítható legyen a külső ill. belső pontos illeszkedés. Az eredmény (9. ábra): két, meg lehetőszen „érdekes” felszín, amelyek készen állnak az összeolvasztásra.



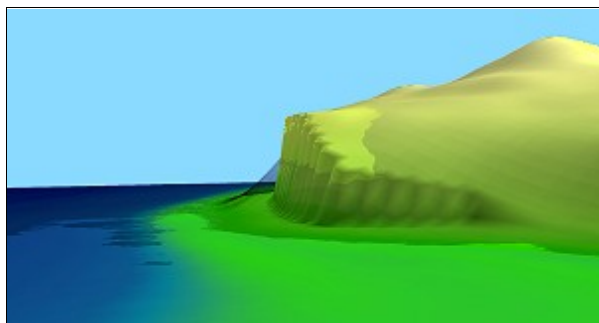
9. ábra A két rész-felszín 3D-ben
3× magassági torzítás + a lapos (kék) felszínen 5-szörös Z-érték szorzó (ESRI ArcGIS ArcScene)

A módszer azt a logikát követi, hogy az „alacsony” felszín közelebb áll a valósághoz, mint a „magas”, hiszen a lapos térszín folytatása valószínűleg a hegy szélein megszakadó, 107,5-110 mBf szintvonalakkal jól leírható. Ezért a magas térszint kell a laposba illeszteni. Ehhez megfelelő maszkolás szükséges, ami a területhatárok fedvényből nyerhető. A maszk segítségével

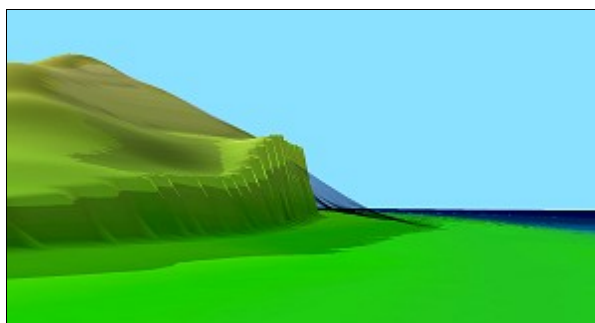
kivágható a magas térszín releváns része, amelyet a következő ArcView 3.2 Spatial Analyst kifejezéssel olvashatunk be a „hegybe”:

```
uj_felszin = ([maszk_alacsony].IsNull).con([magasgr],[maszk_alacsony])
```

A fenti kifejezés cellánként megvizsgálja, hogy van-e a [maszk_alacsony] grid adott cellájában érték. Ha nincs (azaz NoData), akkor a [magasgr] területet írja az eredmény-grid adott cellájába, ha van, akkor a [maszk_alacsony] grid cellájában levő értéket.

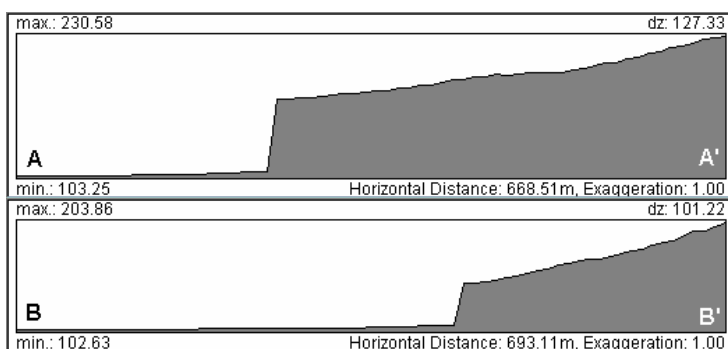
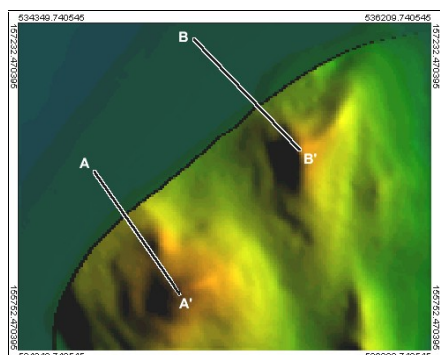


Kb. a bélatelepi kemping strandja felől



Kb. BHRT kikötő keleti móló végéről

10. ábra Az új DTM megjelenése (torzítás: 2x; halványan az eredeti modell látható, ESRI ArcGIS ArcScene)



11. ábra Metszetek az új modellen (magassági torzítás nincs, DiGem)

A 10. ábra segítségével összehasonlítható az eredeti DDM és az újonnan elkészült terepmodell, a 11. ábra pedig két jellegzetes szelvényt ábrázol a „varázslatok” utáni modellen.

A további ábrák egy része DiGEM domborzatmodellező és -elemző szoftverben készült, mivel e program nagyon szép színskálákat és realisztikus árnyékolást, ill. metszeteket tett lehetővé az akkor elérhető szoftverek között. Ma már (egyebek mellett) az ArcGIS-ben is elérhetők ezek a lehetőségek.

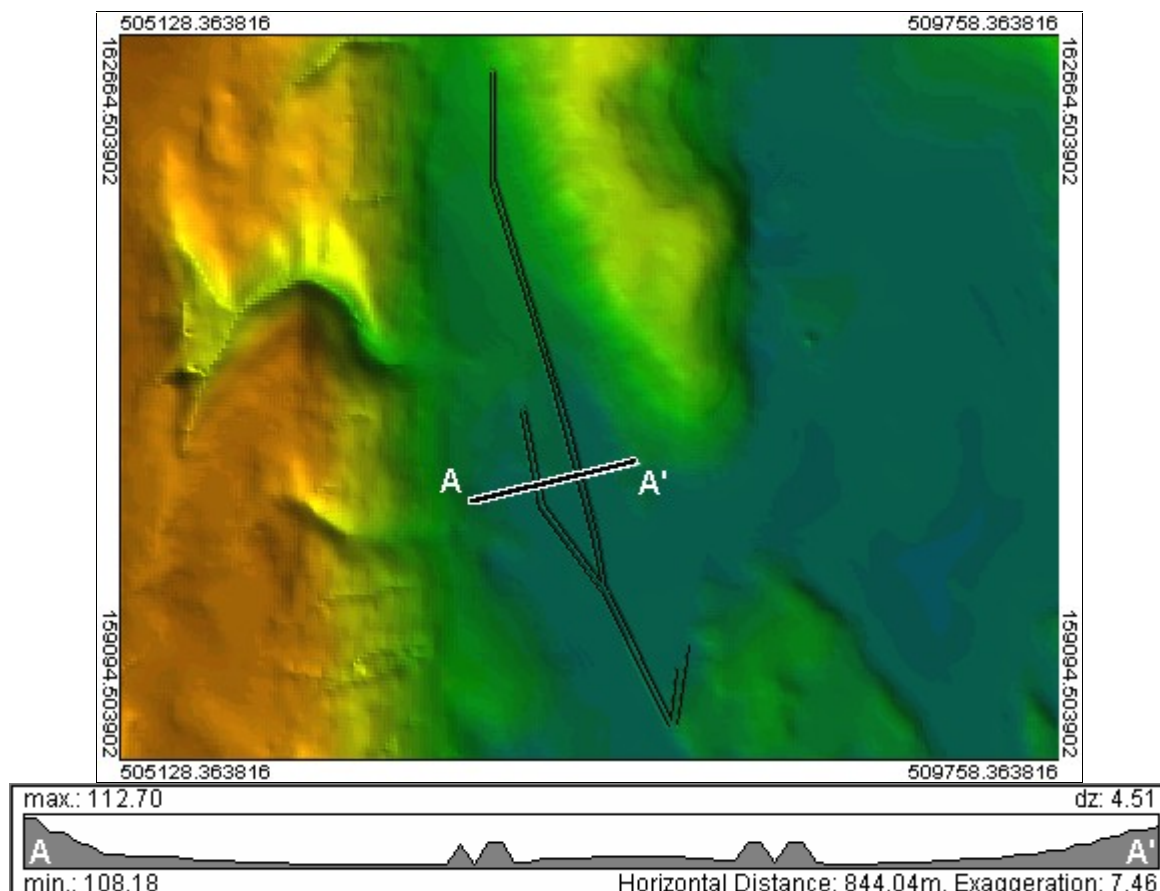
3. Gátak, töltések

Ilyen jellegű objektumok a DTM-be csak megfelelő pontosságú, méretarányú alaptérképről vihetők be. A pontossági igényektől függően persze lehet generalizálni is, a látvány, ill. a modell valóságűsége szempontjából mindenképp előnyös az ilyen formák beépítése.

A feladatot két típusra oszthatjuk: abszolút ill. relatív magasságú gátak, töltések. A relatív eset egyszerűen megoldható: csak be kell digitalizálni a gát körvonalait poligonként, megadni a megfelelő, környezettől mért magassági értéket, raszterre konvertálni (úgy, hogy a környezete 0 értékű legyen) és raszteres algebrával hozzá kell adni az eredeti felszínhez (12. ábra). Ezt finomítani is lehet, ha a kapott raszteren elvégzünk egy átlagolás műveletet, mert enélkül a gátunk egy függőleges fal lesz, meglehetősen „pixeles”, fogazott oldalakkal. Ez a módszer a

legtöbb árvízvédelmi töltés esetében jól használható, hiszen ezek többnyire követni szokták a felszín változásait.

Ha azonban völgyzárógátat, vagy völgyet átszelő vasúti töltést kell modellezni, a fenti módszer nem járható, hiszen e formák lényege, hogy egy bizonyos magasságú „koronát” alkossanak. Alapesetben feltételezzük, hogy töltésünk teteje vízszintes, azaz mindkét vége azonos tengerszint feletti magasságon találkozik a dombokkal. Ilyen esetekben van néhány különleges körülmény, amelyek megoldásához némi TIN varázslatokat is végre kell hajtani. Ezekkel a következő szakaszban részletesebben is foglalkozunk.



12. ábra Példa gátak megjelenésére (a szelvény magassági torzítása: 7,46; Hévíztől 2 km délre, DiGEM)

A vasúti töltések esetében egy fix, abszolút magasságú sávot alakítottam ki, mivel a pálya általában vízszintesen hidalja át a mélyedést két domb között. Ha lejtése is van, azaz nem egyforma magasságon érintkeznek a magaslattal, akkor a következő fejezetben ismertetett TIN-es módszer járható. Ugyanezt kellett használni utak töltéseihez, hiszen általában ugyanarról volt szó: a domborzat egyenetlenségeit töltéssel hidalták át. A módszer finomítása, ha a „kézzel” létrehozott töltésnek csak azt a részét illeszttem be az eredeti domborzatba (logikai feltételek megadásával), amely alacsonyabb térszínre esik. Ezzel elkerülhető az a jelenség, hogy esetleg egy domb oldalából a töltés (mivel ott már alacsonyabb lesz a környezeténél) kiharapjon egy kis darabot.

4. Vasúti töltések, árkok, löszmélyutak és hasonló mesterséges alakzatok

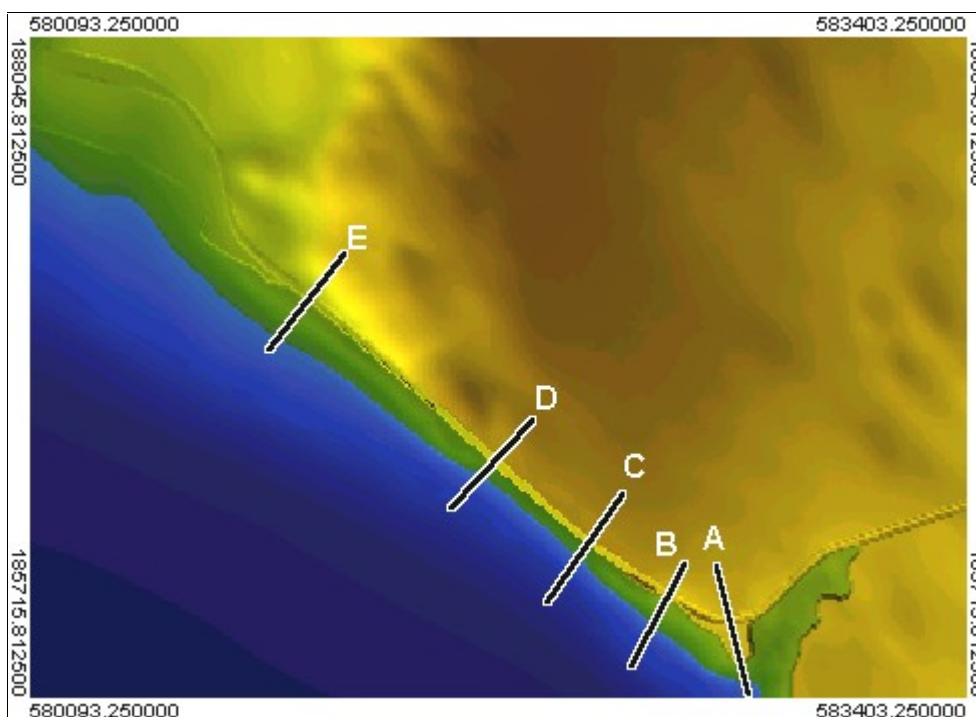
Talán ez a legszebb, legizgalmasabb felhasználási lehetőség, mivel szinte minden domborzatmodellezési eljárásra szükség van. Természetesen nem szabad elfelejteni, hogy a jelen dolgozat raszteres végeredményeket feltételez, nem TIN-t. Röviden a lépések:

1. a terület DDM-jének generálása (interpoláció)
2. vasúti töltés, löszmélyút területének digitalizálása (poligon)
3. töltés, mélyút fontos pontjaiban a magasság minél pontosabb meghatározása (pl. terepi mérés)
4. mért magassági adatokból TIN-ek készítése (objektumonként külön-külön)
5. TIN → raszter konverzió (szintén külön-külön)
6. raszterekből a releváns területek kivágása (2. lépésben megrajzolt poligon alapján)
7. kivágott részek beillesztése az eredeti DDM-be (**con** függvény)

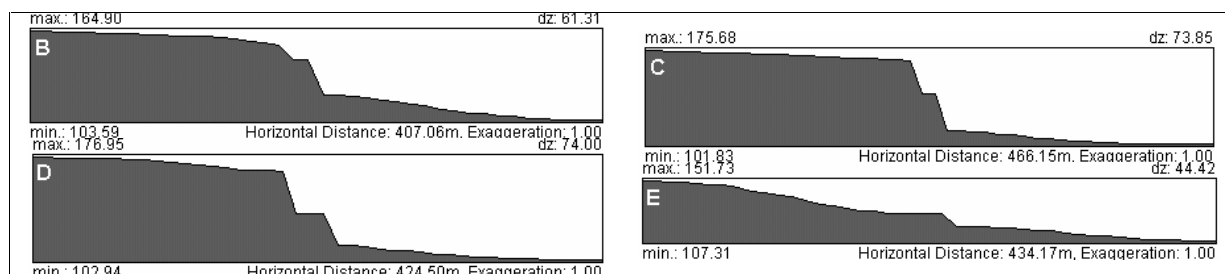
Természetesen ilyen formák (mivel általában viszonylag kis kiterjedésűek) elég finom felbontású DDM-et igényelnek (pl. 5 m), hiszen ha a legkisebb szélességnél durvább a modell felbontása, bizonyos részletek óhatatlanul elvesznek.

Mivel a technika a fenti objektumok modellezésében nagyon hasonló, ezért a módszert csak néhány Balaton környéki vasútszakasz példáján mutatom be.

Az akarattya-kenesei szakaszon (13. ábra) a vasútvonal nagyrészt a parttal párhuzamosan fut és kb. 150 méter tengerszint feletti magasságról ereszkedik le 110 méterre. Tehát egy olyan lejtőt kell létrehozni, amely a pálya tengelyére merőleges irányban vízszintes (le ne boruljon a vonat), a másik irányban viszont nagyon enyhén lejt (max. 0,5-1 %), ráadásul még kanyarog is. Mindezt pedig egy olyan felszínen, amelyet amúgy sem túl egyszerű modellezni (ld. 2. Omlásfal, magaspart, szakadék).



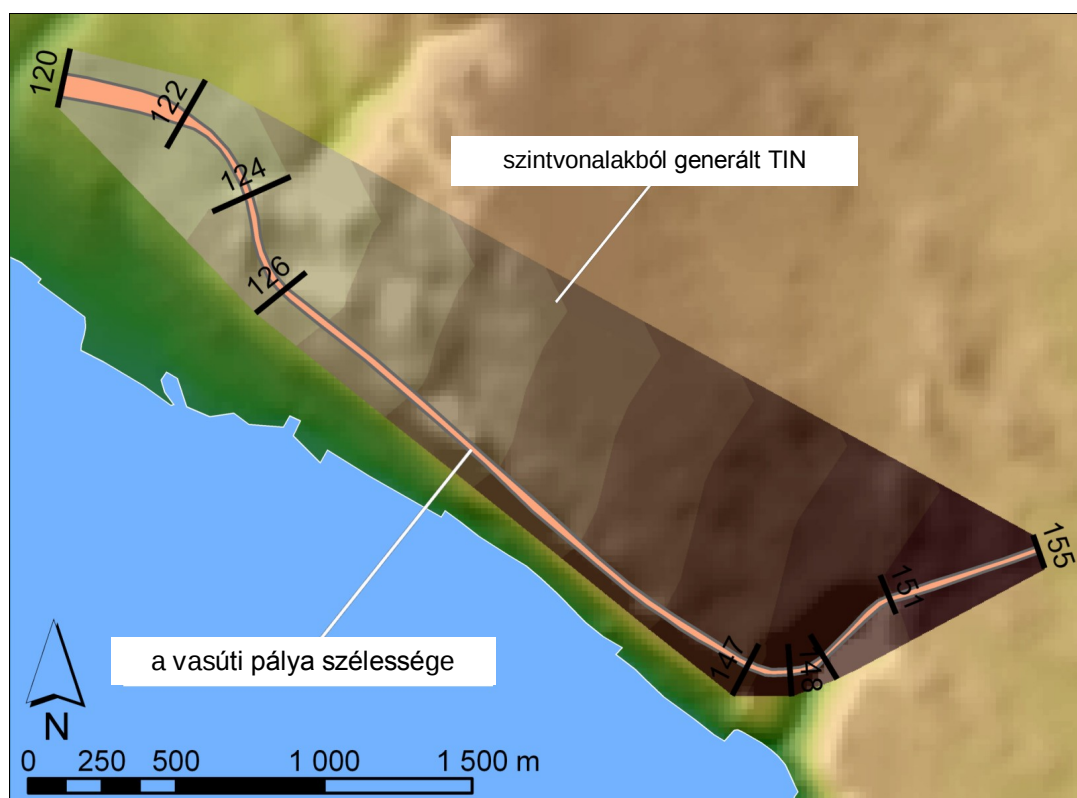
13. ábra A vasúti pálya modellje a magasparton Akarattya és Kenese között (metszetek a 14. ábrán, DiGEM)



14. ábra A vasúti pálya teraszának metszetei a magasparton (magassági torzítás: nincs; B, C, D, E metszetek helye a 13. ábrán, DiGEM)

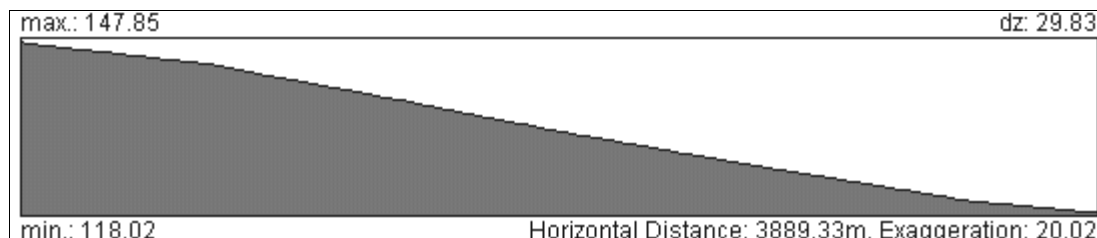
A vasúti töltés metszete a fent látható lépcsős alakot veszi fel (14. ábra). Ezt egy sík vidéken még nem lenne bonyolult megoldani, itt azonban maga a „lépcső” is lejt és az a terület is (elég meredeken), ahova be akarom illeszteni. A folyamat lényege, hogy létre kell hozni egy olyan szintvonalas „térképet”, amely reprezentálja a vasút teraszát.

A vasúti pályára merőleges szintvonalakból TIN felületmodellt készítettem (15. ábra), ami a vonalak között pontosan követi a lejtőt, az egyéb (eldobandó) területeken lineárisan interpolált felületet generál. Ezt raszterre konvertáltam, a felületből kivágtam azt a kb. 10 méter széles sávot (15. ábra, fehérrel), amely magát a vasúti pályát és legközelebbi szomszédságát reprezentálja. Létrejött tehát egy keskeny, egyenletes lejtésű „csík”, amin a vonat, ha gondolja le is gurulhat. Ezt a csíkot a már magasparttal feljavított domborzatmodellbe illesztettem raszteres aritmetikával.



15. ábra A lejtős vasúti szakaszok modellezésének lépései (ESRI ArcMap 8.2)

Jól látható, hogy a vasúti pálya folyamatos lejtése (átlagosan 0,7 %) a környezettől függetlenül alakul (16. ábra).



16. ábra A kapott lejtő hosszirányú metszete
(Balatonvilágos-Szabadisóstó; magassági torzítás: 20×, DiGEM)

A pálya hol zárt, hol pedig nyílt, azaz helyenként árokban fut, máshol pedig gyönyörű kilátás nyílik a tóra. E módszer azonban ezt is megoldja, hiszen gyakorlatilag ugyanazt teszem, mint amikor a vasutat építették és kiásták az eredeti felszínből a pálya árkát, ill. felhúzták a magas töltést. Nekik is meg volt adva, hogy legfeljebb mekkora lejtést érhetnek el, én pedig a fix magasságú pontokat egyenes lapokkal kötöttem össze úgy, hogy a pálya lejtése ne legyen túl nagy, megközelítse a valóságot. Egy korábbi változatban sűrűbben rajzoltam meg a szintvonalakat, ám ekkor nem sikerült biztosítani az egyenletes lejtést, hiszen a TIN modell is töréseket generált. Ezután csak az egyenletes lejtőjű szakaszok végpontjaiba rajzoltam szintvonalakat, így köztük már szép, egyenes lejtőlapok jöttek létre. Mivel a TIN lineáris interpolációval köti össze a fix magasságú pontokat, vonalakat, ideális módszer volt a feladat megoldására.

Összefoglalás

A cikk, és az azt megelőző „kísérletezés” fő célja az volt, hogy olyan módszereket gyűjtsék össze, amelyek segíteni tudnak egy nagyfelbontású terepmodell építésében. Ezek a módszerek az asztali GIS szoftvereinkben már meglévő lehetőségeket, függvényeket használják ki, melyek ismeretével sokkal pontosabb, valósághűbb felszínmodelleken dolgozhatunk további térinformatikai alkalmazásokban.

A „Lego”-technikák elsősorban olyan kutatások eredményeihez hasznosak, amelyek kellően kicsi területre terjednek ki, és a kutató csak kevés anyagi erőforrásból gazdálkodhat (drága a terepmodell, LIDAR, radar, nincs Erdas OrthoBase-ünk, stb.), viszont megvan benne a kísérletezőkedv és legalább egy ArcView Spatial Analyst a rendelkezésre áll. A bemutatott trükkök persze megfelelő fordításokkal viszonylag egyszerűen átvihetők más geoinformatikai szoftverekbe is, amelyek raszteres algebrához is biztosítanak eszközöket.

A Lego módszerek további felhasználási lehetősége olyan területek modellezése, ahonnan a fent említett technikák túl részletes modellt adnak vissza, pl. egy ártéren a nagyfelbontású LIDAR modell képes egy kerítést, sövényt is víz számára áthatolhatatlan akadályként „értelmezni”, és ez nagyban rontja a lefolyásvizsgálatok pontosságát. Ezeket ugyan lehet utólag kézzel javítani, törölgetni, de ez további idő-, energia- és pénzráfordítással jár. Lego-s megoldásokkal viszont az egyszerűbben, esetleg olcsóbban beszerezhető, előállítható interpolációs DDM-re könnyen felvihetők azok az objektumok, amelyekre valóban szükség van a modell kialakításában.

Irodalom

- ESRI ArcGIS Documentation, Spatial Analyst Functional Reference – CON function
- ESRI ArcView Online Help (Spatial Analyst, 3D Analyst)
- Golden Software Surfer 7.0 Online Help
- <http://www.rosiamontana.org>
- <http://www.gabrielresources.com>
- <http://www.rosiamontanagoldcorp.com>
- Géczi Róbert – Bódis Katalin: Környezeti monitoring Verespatak környékén; 2003, Cluj, Kriterion Kiadó

Felhasznált szoftverek

- ESRI Arc/INFO 8.2
- ESRI ArcView 3.2 (Spatial Analyst, 3D Analyst)
- ESRI ArcGIS 8.2 (Spatial Analyst, 3D Analyst)
- DiGEM 2.0