

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Morfometriai és morfográfiai térképek
szerkesztése a Gerecse ÉNY-i
területének domborzatmodellje alapján.

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK

Készítette:

Gerzsenyi Dávid

térképész és geoinformatikus szakirányú hallgató

Témavezető:

dr. Albert Gáspár

adjunktus

ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék



Budapest, 2016

Bevezetés.....	3
<i>A Gerecse.....</i>	3
<i>Morfometria.....</i>	6
<i>Digitális domborzatmodellek.....</i>	7
<i>Az SRTM adatbázis</i>	9
Módszerek	12
<i>Elemzési módszerek.....</i>	12
<i>Hidrológiai elemzési módszerek</i>	17
Az elemzések elvégzése.....	21
<i>A lejtőkkel kapcsolatos paraméterek kiszámítása</i>	21
.....	24
<i>Vízgyűjtő-medencék és vízfolyások meghatározása.....</i>	24
<i>A vízfolyások helyének rögzítése a domborzatmodellben</i>	25
<i>TRI kiszámítása</i>	28
<i>Területre vonatkozó statisztikák készítése</i>	28
Az eredmények bemutatása	31
<i>Morfometriai paraméterek térképei.....</i>	31
<i>Hidrológiai paraméterek térképei</i>	36
Összefoglalás	41
Irodalomjegyzék.....	42
Ábrajegyzék	44
Mellékletek.....	45
Köszönetnyilvánítás	47

Bevezetés

Szakedolgozatom fő céljával a Gerecse északnyugati részének domborzati viszonyait kellőképpen szemléletesen és pontosan bemutató morfometriai és morfográfiai térképek elkészítését tűztem ki. A dolgozat célja továbbá az is, hogy a térképeken megjelenített, azok alapjául szolgáló morfometriai paramétereket és digitális domborzatmodellből történő levezetésük módszereit ismertessem. Elmondható, hogy morfometriai paramétereinek bemutatása ugyan akár önmagában is jó információt szolgáltat egy területről, de a komolyabb, mezőgazdasági, erdőgazdálkodási, építési és más egyéb munkák tervezéséhez és az ezeken a területeken történő döntéshozatalhoz szükséges lehet még az adott terület földtani, talajtani, hidrológiai és növényzeti adottságainak ismerete is. Csak így, mindezeket egy komplex rendszerben szemlélve, az egyes tényezők közötti kapcsolatokat is megvizsgálva kaphatunk teljes képet egy területről, így ismerhető meg múltbéli alakulása és így adhatunk jó becslést arra nézve, milyen változások várhatóak a jövőben.

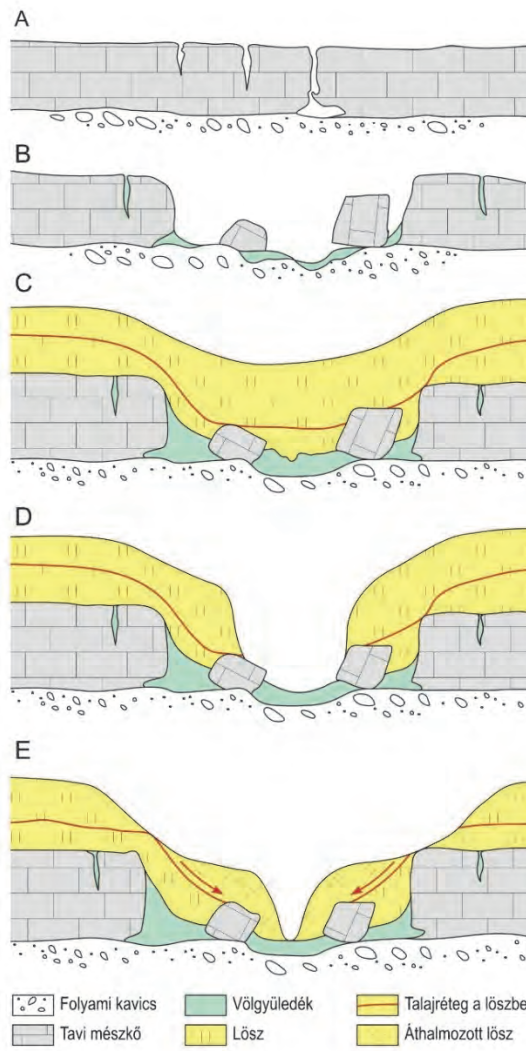
A dolgozat célterülete, a Gerecse északnyugati részének esetében ennek jó példája lehet a csuszamlásveszélyes területek a fentebbi tényezők figyelembevételével történő kijelölése. A Gerecséről készült geomorfológiai térképekről ugyan leolvashatóak a már végbement csuszamlások helyei, illetve csuszamlásveszélyes területek is jelölésre kerültek, de digitális, főleg kereshető-elemezhető formában nem állnak rendelkezésre. Egyedül talán a Mezőgazdasági Parcella Azonosító Rendszer (MePAR) (Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, 2003) egész országra kiterjedő adatbázisa jelent kivételt, ahol többek között a 12 illetve 17 %-ot meghaladó lejtőkre és az erózióval érintett területekre vonatkozó tematikus fedvények is elérhetőek.

A céлом tehát olyan állományok és az őket megjelenítő térképek létrehozása, melyek jó alapjai és kiegészítői lehetnek a fentebb említett vizsgálatoknak. Az elvégzett elemzések alapjául az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 1" felbontású magasságmodellje szolgált, melynek előnye, hogy nonprofit célokra ingyenesen és globálisan elérhető. Így pedig a dolgozatban bemutatott elemzési módszerek a Föld szárazföldjeinek legnagyobb részére ugyanezen adatbázis vizsgálatával elvégezhetőek.

A Gerecse

A Gerecse a Dunántúli-középhegység legtagoltabb középtájának, a Dunazug-hegyvidéknek a legnyugatibb tagja. A hegységet a Nyugati-, a Központi- és a Keleti-Gerecse

kistájak háromszöge alkotja, északon a Duna, nyugaton az Által-ér, keleten a Dorogi-medence, délen pedig a Nyakas-tető vonulata határolja. A hegységre a Dunántúli-középhegység többi tagjától eltérően, az észak-északnyugat – dél-délkeleti töréseknek köszönhetően az észak-déli csapásirányú sabbércsorok, hegyközi medencék és eróziós völgyek jellemzőek. Területe mintegy 850 km², legmagasabb pontja pedig a 643 m magas Nagy-Gerecse.



A negyedidőszak során folyami kavics, és tavi mészkövek rakódtak le váltakozva. Amikor a tavak kiszáradtak (A), a mészkőbe völgyek vágódtak be (B) és az egészet befedte végül a lösz (C). A löszbe ma meredekfalú vízmosások vágódnak be gyors ütemben (D). A csuszamlások leginkább ott fordulhatnak elő, ahol a löszben agyagos talajrétegek találhatóak, és ahol a rétegek a mai lejtő irányában dőlnek (E); azaz a betemetett völgyek oldalában.

1. ábra Negyedidőszaki felszínformálás a Gerecseben. (Albert, 2013)

A Gerecse legmagasabb részei kiemelt fennsíkok és a környező üledéktakaróból kibukkanó mezozoós sabbércsek képében, köztük a hegység legmagasabb csúcsával, a

A hegység legidősebb kőzeteit a felső triász időszaki dolomit és Dachsteini mészkő adja, ezek mellett jura és kréta mészkőformációk és kréta durvatörmelékes összletek találhatóak itt a mezozoikumból. A középső eocénben ezekre agyagos, márgás és széntelepes tengeri üledékek rétegződtek. A szerkezeti árkokban az oligocénben homok, márga és kavics, az árkok peremén pedig pannóniai deltakavics, homok, agyag és édesvízi mészkő rakódott le. A hegység legfiatalabb képződményeit a negyedidőszakban lerakódott édesvízi mészkő, folyóvízi homok és kavics, valamint a lösz adják, ezek borítják a felszín legnagyobb részét is, alóluk bukkannak ki az idősebb formációk. A lösz vastagsága a hegyi részeken 4-5 m, a hegylábi, lankásabb részeken akár 5-10 m is lehet, a folyóvízi üledékek a Duna mentén akár a 10-15 m-t is elérhetik, a kisebb patakoknál ez az érték 5 m környékén van (Scharek et al., 2000).

Nagy-Gerecsével (643 m) a Központi-Gerecsében találhatóak. Őket magasságban a Nyugati-, majd a Keleti-Gerecse sasbércei követik, de a Központi-Gerecséhez hasonlóan e két kistáj magasabb sasbércei sem teljesen fedettek üledékekkel, kihantolódásuk a miocén után kezdődött meg. Az alacsonyabb bérceket már szinte kivétel nélkül üledéktakaró fedi, a bércek közötti árkokat is harmadidőszaki üledékek töltik ki. A hegylábi részek feltagolódása és így a hegylábi völgyek és medencék kialakulása a felső pliocéntól számítható. Ebben nagy szerepet játszott az eróziós völgyek és a Duna bevágódása is. A hegylábi részekre a löszös fedettség mellett miocén abrúziós teraszok, édesvízi mészkövek és hordalékkúp maradványok jellemzőek, ezeket a részeket a negyedidőszaki erózió és lejtős tömegmozgások formálták mai medencedombsági képükre. (1. ábra) A terület löszös részein szép számmal találni csuszamlások nyomait, így bizonyos részek ma is a csuszamlásveszélyes kategóriába sorolhatóak. Ilyenek különösen a mai lejtővel azonos dőlésirányú agyagos rétegeket is tartalmazó löszös területek. (Albert, 2013)

A Nyugati-Gerecsét keleten a Bikol-patak völgye, nyugaton az Által-ér határolja. Szerkezetileg különböző magasságú, igen jól tagolt mezozoikumi sasbércek sorozatából áll. Ezek közül a legmagasabbak az Öreg-Kovács (555 m), a Gorba-tető (505 m) és a Hosszú-vontató (455 m). Az alacsonyabb sasbércek a Nyugati-Gerecse délebbi részén találhatóak, ezek részben vagy egészben már harmadidőszaki képződményekkel fedettek. A hegység e részei dél felé fokozatosan alacsonyodnak a hegységelőtéri medencék (pl.: Zsámbéki-medence) felé, az északi és a nyugati részekeken viszont inkább a meredek, északnyugati, nyugati és délnyugati irányú lejtők jellemzőek. A peremi hegyláb felszíneket a Duna erózióbázisához tartozó eróziós patak völgyek szabdalják fel, a patak völgyekben és a Duna menti teraszokon a folyóvízi üledékek jellemzőek. A területen ma is aktív felszínformálás folyik, az eróziós és deráziós völgyek és eróziós árkok, fosszilis csuszamlások mellett szép számmal találhatóak itt recens csuszamlások, suvadások is (Juhász, 2002).

A Gerecse vízhálózata nem különösebben sűrű, nagyobb vízfolyások itt nem alakultak ki. Ennek oka a hegység karsztos jellegében keresendő. A területen jelentős számú forrásbarlang is található, ezek képződése többnyire az egykori hévforrások működéséhez köthető. A hegység északi részének patakjai a Dunába folynak le, a vizek a nyugati peremi részéről pedig az Által-érbe vagy a tata környéki tavakba folynak le. A déli részen folyó patakok legtöbbje a törésvonalakat követve délkeleti irányban hagyja el a hegység

területét. (Juhász, 2002)

Morfometria

A morfometria szó görög eredetű, az alak vagy forma jelentésű „morphé” és a mérés jelentésű „metria” szavak összetételéből jött létre, jelentése alakmérés. Tágabb értelemben morfometria alatt nem csak a földfelszín, hanem például tárgyak vagy élőlények méret- is alakbeli tulajdonságainak számszerű mérését, modellezését értjük. (Kertész – Karátson, 2002) A földfelszín ilyen jellegű vizsgálatára, elemzésére ezért pontosabb lenne a geomorfometria (földalak-mérés) szót használni, ám ez a kifejezés még igen ritkán használt a hazai szaknyelvben. A dolgozat további részében a morfometria megnevezés alatt is a geomorfometriát értem. R. J. Pike, I. S. Evans és Hengl T. a geomorfometriát mint a „*kvantitatív földfelszín analízis tudománya*” definiálják. (Pike et al., 2009) J.J. Clarke pedig mint „*a földfelszín konfigurációjának és a felszíni formák alakjának, dimenzióinak a mérése és ennek matematikai elemzése*” hivatkozik rá. (Clarke, 1966)

A geomorfometriai elemzések során valamely területre vonatkoztatva vizsgáljuk a domborzat számszerűsített paramétereit és azok térbeli változékonyságát. Ez a terület lehet egy szabályos rács- vagy négyzetháló, de akár szabályos közönként elhelyezett körök hálózata, illetve bizonyos vizsgálatok elvégezhetőek a vízgyűjtő területekre (egy vízfolyáshoz tartozó azon terület, ahonnan a víz az adott vízfolyásban gyűlik össze) vonatkoztatva is. A legegyszerűbben kezelhető és a legelterjedtebb ezek közül a szabályos rácsháló (GRID), ezt a típusú adatmodellt a fejezet következő részében mutatom be.

A morfometriai elemzéseknél használt legfontosabb kiindulási adat a magasság. Az elemzésekhez szükséges paraméterek az egyes pontok és szomszédjainak magassága közti viszony, vagy a magasságok az adott területi egységen belüli megoszlása alapján számíthatók ki. Magasság alapján számított paraméterek a lejtő meredeksége, a kitettség, a lejtő görbülete és a reliefenergia (a terület legmagasabb és legalacsonyabb pontjának magasságkülönbsége) is.

Egy területről jó információt szolgáltat a vízhálózatának és a hozzájuk tartozó vízgyűjtő-medencék milyensége, a vízhálózat térszerkezete is. Hasonló földtani adottságú területekről elmondható, hogy a vízhálózatuk szerkezete is nagy hasonlóságot mutat. A vízfolyások helyének meghatározása történhet topográfiai térképről való leolvasással és annak digitalizálásával, illetve – elég jó felbontás esetén – digitális

domborzatmodellel elvégzett vizsgálatokkal is. A vízhálózat jellemzése annak hosszával, az adott szakasz esésével, vízhozamával, a vízfolyás sebességével is történhet. A vízhálózatok jellemzésére használt morfológiai paraméterek sokszor nem abszolút, mértékegységgel rendelkező adatok, hanem valamilyen arányszámok. A különböző morfológiai paramétereket és (digitális domborzatmodell alapján történő) meghatározásuk mikéntjét a Módszerek című fejezetben mutatom be bővebben.

Digitális domborzatmodellek

Az elnevezések különbségei



2. ábra: A digitális felszínmodell (DSM, pirossal) és digitális terepmodell (DTM, feketével) különbségének bemutatása.

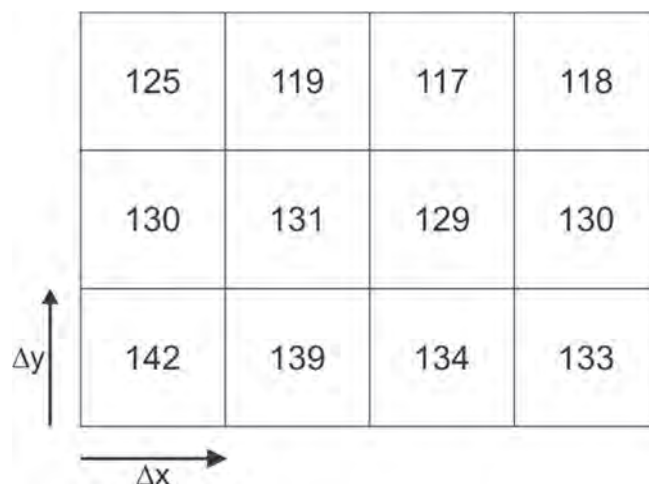
Digitális domborzatmodell alatt alapvetően egy olyan modellt, adatbázist értünk, amely egy topográfiai felület bizonyos pontjainak X, Y, Z térbeli koordinátáit tartalmazza (Miller – Laflamme, 1958).

A különbség az egyes elnevezések között abban mutatkozik, hogy a különböző természetes és mesterséges tereptárgyakkal együtt vagy azok nélkül értelmezik a magasságot. A minden pontban csupasz földfelszín leképezni próbáló modelleket digitális terepmodellnek (DTM, angolul Digital Terrain Model) vagy digitális domborzatmodellnek (DDM) nevezik. A tereptárgyakat is a felszín részének tekintő modelleket digitális felszínmodellnek (DFM, angolul Digital Surface Model, DSM) nevezik. (2. ábra) A digitális magasságmodell (DMM, Digital Elevation Model, DEM) megnevezés nem tesz különbséget az előbbi két modell között, ezek összefoglaló elnevezése. A felületmodellek kategóriájába esnek még a valamely más felületet, például egy bizonyos földtani réteg vagy egy adott nyomású potenciálfelületet leképezni kívánó modellek.

A digitális domborzatmodellek egyik forrásai a digitalizált topográfiai térképek (ilyenkor a szintvonalak digitalizálása történik). Az Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) szelvényeinek szintvonalainak digitalizálásával (sztereofotogrammetriával kiegészítve) előállított domborzatmodellek hazánk területére is elérhetőek, akár 5 m-es felbontásban is. (Földmérési és Távérzékelési Intézet, 2006) A másik lehetőség a digitális domborzatmodellek előállítására a LIDAR-os felvételezés, illetve az így kapott felvételekről a növényzet és a mesterséges objektumok bizonyos algoritmusokkal való eltüntetése. Ezen algoritmusok viszont főként csak a sík területeken használhatóak, hegyi, hegylábi felszíneken nehézséget okozhat számukra a korrigálandó területek lehatárolása. A digitális felszínmodellek pedig légi- és űrfelvételek, radarképek vagy LIDAR-os felvételek alapján nyerhetőek. Előbbi hibái eredhetnek a szintvonalak digitalizálásának pontatlanságából, illetve a modell előállításához használt interpolációs módszerek is létrehozhatnak hibás adatokat.

A GRID típusú adatmodell

A (geo)morfometriai térképek elkészítésekor a térképet szabályos ráccsal (angolul: grid) fedik le és a különböző paramétereket a rácsok celláira határozzák meg. A rácsszerkezetben tárolt adatok esetében az egyes rácspontok helye a rács valamelyik sarokpontjának és a rácspontok távolságának ismeretében könnyen kiszámítható. A következőkben a szabályos rácshálót alkalmazó, azaz GRID típusú adatmodellt ismertetem bővebben. Ez tulajdonképpen a raszteres adatszerkezetnek felel meg. (Elek, 2009)



3. ábra A GRID típusú adatmodell szemléltetése. A számok a cellához rendelt magassági értéket jelölik, Δx és Δy az x és y irányú felbontást.

A raszteres adatszerkezet lényege, hogy a képet sorokra és oszlopokra, azon belül

cellákra osztjuk fel és az egyes cellákhoz valamilyen értéket rendelünk. Ez az érték vonatkozhat a cellák közepére vagy a felosztáshoz használt rácsháló rácspontjaira. A raszteres kép alapegységei ezek a cellák, amiket pixeleknek nevezünk. A kép felbontását a felosztáshoz használt rácsháló vonalai közötti távolság adja meg. Ha a vízszintes és a függőleges rácsvonalak közötti távolság megegyezik, akkor egyszerűen csak felbontásról beszélhetünk, ha viszont nem egyezik meg, akkor meg kell különböztetni a vízszintes és a függőleges (azaz x és y irányú) felbontást is. (3. ábra) A cellákhoz rendelt érték a digitális képek esetén lehet valamilyen színmodell szerinti színérték vagy valamely hullámhossz-tartományhoz tartozó érték. A digitális domborzatmodellek esetében a cellákhoz egy-egy magasságérték tartozik, de a cellákhoz rendelhetünk szinte bármilyen folytonos (nyomás, hőmérséklet) vagy diszkrét értéket is.

Ahhoz, hogy a digitális domborzatmodellekben tárolt információk térben is elhelyezhetőek legyenek pusztán a magassági adatok és a felbontás ismerete még nem elegendő. A földrajzi térben való elhelyezéshez szükség lehet még bizonyos egyéb adatokhoz is, mint például a vetületi rendszer és paraméterek, geodéziai dátum és az illesztőpontok, sarokpontok koordinátái. Ezeket az adatokat a különböző formátumok különbözőképpen tárolják, ezért a fájlokkal való munka előtt érdemes az egyes formátumok ilyen tulajdonságait is megismerni. A dolgozatban bemutatott térképek készítéséhez használt formátumokat a későbbiekben mutatom be.

Az SRTM adatbázis

Az SRTM (Farr et al., 2007) a NASA (National Aeronautic and Space Administration) Shuttle Radar Topography Mission nevű programja keretében létrehozott globális lefedettségű magassági adatbázis. A programban a NASA és a NIMA (National Imagery and Mapping Agency, az USA védelmi minisztériumának egy szervezete) mellett európai részről német (DLR, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.) és az olasz (A.S.I., Agenzia Spaziale Italiana) űrügynökség is részt vett. Az SRTM nyers adatainak felvétele 2000 február 11-22. történt az Endeavour űrsiklóról radar-interferometriás (Marino, 2012) módszerrel, az ezekből levezetett digitális magasságmodellt pedig az ezt követő években tették közzé.

A program során a Földet a 60. északi és az 56. déli szélességi kör közötti övben (kb. a földfelszín 80%-a) térképezték fel, a magasabb szélességű részekről az űrsikló 57°-os pályainklínációja miatt nem készült felvétel. Az űrsikló naponta 16-szor, a 11 napos

repülés során pedig összesen 176-szor kerülte meg a Földet átlagosan 233 km magasságban 7,5 km/s-es sebességgel repülve. A felmérés során nem csak az űrsikló nyitható rakterében, hanem egy kinyitva 60 m hosszú, 3 m hosszúságúra összecukható tartószerkezet végén is elhelyeztek műszereket. Az űrsikló a saját tömegén kívül így összesen mintegy 13 600 kg terhet juttatott az űrbe.

A felméréshez kétféle, más hullámhosszon működő radart használtak. A C-sáv hullámhossza 5,6 cm, az X-sáv pedig 3,6 cm. Az X-sávon végzett felméréssel jobb felbontású adatok nyerhetők, de az ezt használó műszerrel csak negyedakkora sáv pásztázható egyszerre, mint az egyszerre 225 km szélességben felvételt készítő C-sávot használó műszerrel. A űrsiklón elhelyezett műszerekből jeleket küldtek a Föld felé, a Földről visszavert jeleket pedig mindkét műszer vette. Emiatt jel kibocsátása és a visszavert jel érzékelése közti idők, illetve az ezek különbségéből számított interferencia, a két műszer távolsága és bizonyos más paraméterek ismeretében akár egy mérés is meghatározható a felszín magassága az adott pontban. A mérést földfelszíni GPS mérésekkel és illesztőpontokként szolgáló mesterséges visszaverő felületek ismert koordinátákon való elhelyezésével egészítették ki.

Az adatokat az Endeavour fedélzetén összesen 330 kazettára rögzítették, erre azért is szükség volt, mert adott idő alatt jóval nagyobb adatmennyiség keletkezett (C radar: 180 Mbit/s, X radar: 90 Mbit/s), mint amennyit a Földre le lehetett volna sugározni (45 Mbit/s). Ez összesen mintegy 12.3 Tb adatot jelentett. A misszió után a C-sávon vett adatokat JPL (Jet Propulsion Laboratory) dolgozta fel, a feldolgozott adatok terjesztését pedig az USGS (United States Geological Survey) végzi. Az X-sávós műszert a német űrügynökség biztosította, ezért az X-sávon vett adatok feldolgozásával és terjesztésével ők foglalkoznak.

A feldolgozás befejeztével egy 1" felbontású magasságmodell készült el, ebből további, kisebb felbontású magasságmodelleket vezettek le és tettek közzé. A 30" és 3" felbontású modellek már a kezdetektől fogva globális viszonylatban is elérhetőek, a legmagasabb, 1" felbontású modellnek először csak az USA területére eső részeit tették bárki számára elérhetővé. Az 1" felbontású magasságmodellt 2014-2015 fokozatosan elérhetővé tették a világ többi részére is. Az Egenlítő mentén a 3"*3" felbontás kb. 90 m*90 m-nek, az 1"*1" pedig kb. 30 m*30 m-nek felel meg.

Az adatok .hgt (height, azaz magasság) formátumban 16 bites bináris egész számokként álltak elő. Az adatokat 1°*1° nagyságú részekre osztották, így az 1" felbontású adatokat

tartalmazó fájlok 3601 sorból és oszlopból állnak, a 3" felbontásúak pedig 1201 sorból és oszlopból. A fájlok a magassági adatokat sor-oszlop elrendezésben tartalmazzák, tehát előbb az első sorba eső cellák magasságai kerülnek felsorolásra, aztán következnek csak a második és sorban a többi sorba eső magasságok. A fájlok neve az 1°-os területek délnyugati sarkának koordinátáit tartalmazza. Az első tag a szélességet, a második tag a hosszúságot adja meg (pl.: N47E19.hgt).

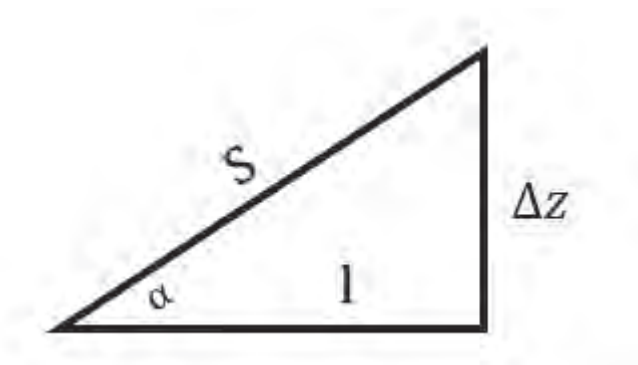
A magasságmodellben keletkeztek üres cellák is, amelyek magassági értékét bizonyos okokból nem sikerült megállapítani. Az üres cellák keletkezése adódhat a műszer vagy valamely feldolgozási módszer hibájából, illetve a mély, nagyon meredek falú völgyekben és bizonyos sivatagi területeken is az átlagosnál nagyobb számban fordultak elő ezek a hibás értékek. Az üres cellák új értékét jellemzően valamilyen interpolációs módszerrel határozták meg (Reuter et al., 2007).

A felmérés során a legnagyobb még elfogadható vízszintes pontosságot 20, az abszolút magassági pontosságot 16, a relatív magassági pontosságot pedig 12 m-ben határozták meg. Ez a hiba természetesen területenként, illetve felszínborítottságtól és akár a lejtők kitettségétől függően is változhat. A beépített területeken a modell nem a földfelszín, hanem az épületek magasságát adja vissza. Hasonló a helyszín a növényzettel sűrűn borított, zárt lombtakarójú területeken is, a műszerek által kibocsátott jel itt sem képes egészen a földfelszínig hatolni. A modell viszont még a sűrű lombkoronájú erdők esetében sem a lombkorona magasságát adja vissza, hanem egy a földfelszín a lombkorona szintje közötti értéket (Hofton et al., 2006). Ezek alapján elmondható, hogy az SRTM modellt a magasságmodelleken belül a felszínmodellek kategóriájába sorolhatjuk.

Módszerek

A különböző morfolometriai paraméterek meghatározására számos módszer létezik, ezek különbségei részben abból adódnak, hogy a paraméterek kiszámításához más pontokat és más súllyal vesznek figyelembe. Nem meglepő tehát, hogy a különböző térinformatikai és domborzatmodellező programok más-más módszereket használnak az egyes elemzésekhez. Megemlíthető még, hogy bizonyos esetekben még a hasonló módszereket használó szoftverek (illetve azok az elemzéshez használt moduljai) is eltérő eredményt adhatnak. Ez fakadhat például az irányok eltérő értelmezéséből (pl.: északi vagy keleti kezdőirány, az azimut az óramutató járásával megegyező vagy ellenkező számítása), vagy abból, hogy valamilyen viszonyzámként kapunk eredményt. Ezen eltérések az egyes algoritmusok pontos ismeretében korrigálhatóak és összehasonlíthatóak, ezen eltérések bemutatása viszont nem célja a dolgozatnak. A fejezetben azokat az elemzési módszereket mutatom be, amelyeket a munka során elkészült térképek alapanyagának előállításához használtam. A bemutatott elemzési módszerek és az általuk eredményül adott morfolometriai paraméterek első csoportja a domborzati és lejtőviszonyokról szolgáltatnak információt. A második csoportot a vízgyűjtő-medencék és a vízhálózat meghatározásához és elemzéséhez szükséges mutatók adják.

Elemzési módszerek



4. ábra A lejtők alkotóelemei.

Két pont esetében a pontokat összekötő egyenes szakaszt lejtővonalnak (S), a lejtővonal vízszintes vetületét lejtő alapvonalnak (l), a lejtővonal és a lejtő alapvonal által bezárt szöget pedig lejtőszögnek (α) nevezzük. A lejtővonal hossza a pontok közötti valódi távolságot, azaz a lejtő hosszát, a pontok közötti magasságkülönbség (Δz) és a lejtő alapvonal hányadosa $\left(\frac{\Delta z}{l}\right)$ pedig lejtő meredekségét adja meg. A lejtőmagasság, azaz a

magasabban fekvő pontból a lejtő alapvonalra bocsátott merőleges szakasz hossza a két pont közötti magasságkülönbséget jelenti. A lejtőmeredekséget a lejtőszög értéke adja meg fokban, vagy a lejtőszög tangensének százszorosa százalékban, utóbbi esetében a 45°-os lejtőszög 100%-os lejtőnek felel meg. (4. ábra) Ez tulajdonképpen a két ponton átmenő egyenes első deriváltja.

A jelen munka készítéséhez felhasznált GRID típusú modelleknél a lejtő meredekségének meghatározása már koránt sem ilyen egyértelmű. A meredekség kiszámításához használt módszerek a rácsháló azonos pontjaira különböző eredményeket adhatnak, lévén nem feltétlenül ugyanazokat a pontokat és nem ugyanazzal a súllyal veszik figyelembe. Itt már beszélhetünk x $\left(\frac{\delta z}{\delta x}\right)$ és y $\left(\frac{\delta z}{\delta y}\right)$ irányú meredekségről is (ezek az x és y irány menti deriváltak). A meredekség (S), azaz a gradiens vektor hosszának általános egyenlete az iránymenti deriváltak felhasználásával a következő:

$$S = \sqrt{\left(\frac{\delta z}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta y}\right)^2} \quad 1. \text{ egyenlet}$$

A különböző térinformatikai és domborzatmodellező programok ezt az egyenletet különböző módszerekkel közelítik. A következőkben a Surfer Terrain Slope és a QGIS-ben is megtalálható r.slope.aspect modul által használt módszereket mutatom be.

Négy szomszéd

A Surfer Terrain Slope funkciója a rácsháló egy pontjához az ottani gradiens vektor hosszához tartozó szögértéket rendeli. Ha S a P ponthoz tartozó meredekség, azaz a gradiens vektor hossza, Δx az x irányú, Δy az y irányú rácstávolság, P pont keleti szomszédjához Z_E , nyugatihoz Z_W , északihoz Z_N , délihez Z_S magasság tartozik, akkor a ponthoz rendelt szögértéket (S_T) a következő módon kapjuk meg:

$$\frac{\delta z}{\delta x} \approx \frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}; \quad \frac{\delta z}{\delta y} \approx \frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}$$

$$S \approx \sqrt{\left(\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right)^2} \quad 2. \text{ egyenlet}$$

$$S_T \approx \frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\left(\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right)^2}$$

A program által használt szögfüggvények radiánt használnak, a radiánban kapott érték

fokba való átváltásához szükséges a $\frac{360^\circ}{2\pi}$ taggal való szorzás (Moore et al., 1993).

a	b	c	Z_{NW}	Z_N	Z_{NE}
d	e	f	Z_W	Z^*	Z_E
g	h	i	Z_{SW}	Z_S	Z_{SE}

5. ábra: A betűk az egyes cellákhoz rendelt magassági (z) értéket jelölik. Jobb oldalon a Surfer által használt jelölések vannak.

Nyolc szomszéd, Horn módszere

Horn módszere (Horn – Schunck, 1981) már nyolc szomszédos cellát vesz figyelembe, de a legközelebbi négy szomszédot nagyobb, kétszeres súllyal, mint az átlós szomszédokat. Ha az x irányú rácstávolság Δx , az y irányú Δy , a rácsháló elemeire pedig a 5. ábra jelöléseit alkalmazzuk, akkor e pontban az x irányú meredekség:

$$\frac{\delta z}{\delta x} = \frac{(c+2f+i)-(a+2d+g)}{8 \cdot \Delta x}$$

az y irányú meredekség:

$$\frac{\delta z}{\delta y} = \frac{(g+2h+i)-(a+2b+c)}{8 \cdot \Delta y}$$

A meredekség kiszámítása Horn módszere alapján:

$$S = \sqrt{\left(\frac{\delta z}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta y}\right)^2} \approx \sqrt{\left(\frac{(c+2f+i)-(a+2d+g)}{8 \cdot \Delta x}\right)^2 + \left(\frac{(g+2h+i)-(a+2b+c)}{8 \cdot \Delta y}\right)^2} \quad 3. \text{ egyenlet}$$

A lejtőszög kiszámítása a Horn módszere alapján kapott meredekségi értékből:

$$\alpha \approx \frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\left(\frac{(c+2f+i)-(a+2d+g)}{8 \cdot \Delta x}\right)^2 + \left(\frac{(g+2h+i)-(a+2b+c)}{8 \cdot \Delta y}\right)^2} \quad 4. \text{ egyenlet}$$

Ezt a módszert használja a QGIS-ben is elérhető r.slope beépülő modul is, amit a lejtőmeredekséget bemutató térkép adatainak előállításához használtam.

Kitettség

A kitettség alatt azt értjük, hogy melyik irányba lejt leginkább a felszín, hogy melyik irányban a legnagyobb lefelé a meredekség. Tehát amíg a meredekséget a gradiens vektor nagysága, addig a kitettséget az iránya határozza meg, értéke 0-360°-ig terjedhet. A kapott eredmény helyes értelmezéséhez fontos tudni, hogy a használt algoritmus melyik irányhoz rendeli a 0°-ot, ez általában az északi vagy a keleti irány. A valóságban ez az

érték a fenti tartományon belül bármekkora lehet, a GRID típusú adatmodelleknél viszont – mivel egy cellának csak nyolc szomszédja van – ez a fő- és mellékirányokra korlátozódik.

A görbület

A görbület a meredekség megváltozásának mértékét adja meg. Egy függvény görbületét annak második deriváltja, vagy felületek esetében valamely irány menti második deriváltja adja meg. Többféle meredekséget különböztetünk meg, ezek közül a legfontosabbak, a morфомetriai és morfológiai elemzésekhez leginkább használatosak: a lejtőirányú, a vízszintes (sík) és az érintőirányú görbület. (Telbisz et al., 2013). A különböző térinformatikai és domborzatmodellező programok a görbületek értékére előjelükben is különböző eredményt adhatnak, ezt főként az eltérő számítási módszerek alkalmazásából ered. (Blaga, 2012).

A következő alfejezetekben a lejtőirányú, a vízszintes és az érintőirányú görbületet, valamint a Surfer által a kiszámításukhoz használt képleteket ismertetem. Az egyes iránymenti második deriváltakat a Surfer a 5. ábra jelöléseit alkalmazva a következő egyenletekkel közelíti:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial^2 x} \approx \frac{Z_E - 2Z^* + Z_W}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial^2 y} \approx \frac{Z_N - 2Z^* + Z_S}{\Delta y^2}$$

5. egyenlet.

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \approx \frac{Z_{NE} - Z_{NW} - Z_{SE} + Z_{SW}}{4\Delta x \Delta y}$$

A görbületek kiszámításánál használt paramétereket pedig az alábbi formula adja meg:

$$p = \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2$$

6. egyenlet.

$$q = 1 + p$$

A lejtőirányú görbület (profile curvature)

A lejtőirányú görbület egy pontban a legnagyobb meredekség irányában számított görbület. A lejtőirányú görbületet is bemutató térkép (18. ábra) adatainak kiszámításához használt Surfer a konvex, tehát domború formákhoz rendeli a negatív, és a konkáv, homorú formákhoz pedig a pozitív értéket. A domború lejtőirányú görbületet mutató lejtőkön a vízfolyás gyorsulása és a lepusztulás jellemző, itt előfordulhatnak különböző

tömegmozgások is, a homorú lejtőkön pedig inkább a felhalmozódás. A homorú lejtők jól kirajzolják a vízmosások útját is. A lejtőirányú görbület (K_p , 7. egyenlet) kiszámításához alkalmazott formulánál a számlálóban lévő tagokat a 2. egyenlet és az 5. egyenlet, a nevezőben lévő p és q paramétereket a 6. egyenlet adja meg.

$$K_p = \frac{\left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}{pq^{\frac{3}{2}}} \quad 7. \text{ egyenlet.}$$

Vízszintes görbület (plan curvature)

A vízszintes- vagy sík görbület úgy kapjuk, hogy egy vízszintes síkkal metsszük el a felszínt és az így kapott görbe görbületét vesszük. Ez tulajdonképpen a szintvonal görbülete. Segítségével eldönthető, hogy az adott területen a lefolyó víz inkább egyfelé, össze, mint a völgyekben, vagy inkább kétfelé, szét áramlik, mint például egy gerinc esetében. A Surfer esetében az előbbi kapja a pozitív és utóbbi a negatív értéket. A vízszintes görbület K_H kiszámításához alkalmazott formula:

$$K_H = \frac{\left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 - 2 \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}{pq^{\frac{3}{2}}} \quad 8. \text{ egyenlet.}$$

Érintőirányú görbület (tangential curvature)

Az érintőirányú görbület meghatározásához egy a lejtésre merőleges síkkal metsszük el a felszínt. Ugyanazt mutatja meg, mint a vízszintes görbület, értékét úgy kapjuk, hogy a vízszintes görbületet elosztjuk a lejtőszög szinuszával. Az érintőirányú görbület K_T kiszámításához alkalmazott formula:

$$K_T = \frac{\left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 - 2 \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}{pq^{\frac{1}{2}}} \quad 9. \text{ egyenlet.}$$

A lejtőirányú és a vízszintes görbületek kiszámításával, illetve ezek kombinálásával közelebb kerülhetünk a területen átfolyó víz felszínalakító hatásának megértéséhez. A lejtők ilyen fajta osztályozásánál érdemes elkülöníteni a teljesen sima vagy csak nagyon kis meredekségű területeket.

Terrain Ruggedness Index (TRI) felszíntagoltsági mutató

Egy adott terület fontos jellemzője annak tagoltsága, felszínének változékonysága is. Ez általában kvalitatív módon, például a töredezett, tagolt, felszabdalt vagy éppen a sima jelzők használatával történik, viszont már a digitális domborzatmodellek szélesebb körű elterjedése előtt is felvetették a felszín tagoltságának számszerűsítését. Ezzel a mutatóval az egyes területek tagoltságát fejezhetjük ki. A magasságkülönbséget mérhetjük csak a szomszédos cellákhoz viszonyítva, vagy egy tetszőleges távolságon belül, vagy egy „ablakon” (pl. egy 9x9 cellás kernelen belül, aminek a középpontjában van a cella) belüli értékeket. A cella és a szomszédok magasságának abszolút különbségét vagy a központi cella és a vizsgált cellák magasságának, abszolút különbségeinek átlagát értjük alatta (Riley et al., 1999).

Hidrológiai elemzési módszerek

A digitális domborzatmodellek jó alapanyagai lehetnek különböző hidrológiai elemzéseknek is. A következőkben a legalapvetőbb hidrológiai elemzési módszer, a vízhálózat és a vízgyűjtő-medencék meghatározásának lépéseit, illetve az ehhez kapcsolódó különböző mérőszámokat mutatom be.

A vízhálózat legalapvetőbb eleme a vízfolyás, a Magyar Értelmező Kéziszótár (2003) a következő definíciót adja rá: „Folyóvíz haladása.”. Máshol ennél bővebb, egyéb kritériumokat is állító definíciókkal találkozhatunk: „Olyan vizek, amelyeknek víztömege a mederben a legkisebb ellenállás irányába (azaz a gravitációs erő hatására a magasabb helyről az alacsonyabb felé) halad.” (Pregun – Juhász, 2011). Gönczy és Szalai definíciója szerint a vízfolyások akkor alakulnak ki, ha egy mederben a vízbevétel meghaladja a párolgásból és beszivárgásból származó veszteséget (Gönczy – Szalai, 2004).

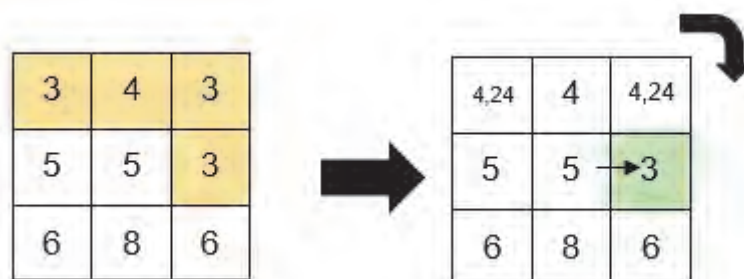
Ezek alapján elmondhatjuk, hogy egy vízfolyást elsősorban a domborzat, valamint a párolgásból, beszivárgásból és az egyéb hatásokból adódó veszteségek határoznak meg. Dolgozatomban a domborzat morfológiai paramétereinek ismertetésére szorítkozom, ezért az alábbiakban ismertetett módszereknél a magasságmodell által meghatározott felszínt úgy képzelhetjük el, hogy az nem ereszt át a rá leeső vizet, a víz így egy helyről vagy tovább folyik egy alacsonyabb terület felé vagy, ha erre már nem képes, akkor egy medencében megáll.

Minden vízfolyáshoz (stream) tartozik egy vízgyűjtő terület vagy vízgyűjtő medence (watershed basin), ez alatt azt a területet értjük, amelyről a csapadék a hozzá tartozó

vízfolyásba gyűlik össze. A vízhálózat (stream network) ezekből a különböző vízhozamú (m^3/s , egységnyi felületen egységnyi idő alatt áthaladó víz) és hosszúságú, egymásba csatlakozó vízfolyásokból épül fel. A vízfolyásokat egymástól a vízválasztók, azaz a vízfolyások közötti legmagasabb felszíni pontokat összekötő vonalak határolják.

Ha az elemzésre előkészített DEM már a rendelkezésünkre áll a vízhálózat és a vízgyűjtő-medencék kinyerésének következő lépése a lefolyásirányok meghatározása. Itt tulajdonképpen arra keressük a választ, hogy az egyes cellákból melyik szomszédos cellába vagy cellákba folyik le a víz. Ennek megállapítására is számos módszer létezik, ezek főleg abban térnek el egymástól, hogy a vizet a cellából hány szomszédos cellába folytatják tovább (Tarboton, 1997)

A vízgyűjtő-medencék lehatárolásához és a vízfolyások nyomvonalának kinyeréséhez a Global Mapper Generate watershed funkcióját használtam, ami a lefolyásirányok meghatározásához a **D-8** módszert (O'Callaghan & Mark, 1984) használja. A módszer lényege, hogy egy cellából a nyolc szomszédja közül csak egybe folyik le a víz, a cellánál alacsonyabbak közül a legalacsonyabban lévőbe. Ez az irány megegyezik a legmeredekebb lejtő irányával. A **D-8** módszert használó algoritmusok egy része (az eredeti leírás is) az átlós szomszédok értékét még elosztja $\frac{1}{\sqrt{2}}$ -vel, hogy így csökkentse a központi cellánál alacsonyabb szomszédok számát. A **D-8** módszer a cellák vizsgálatát észak felől, az óramutató járásával megegyező irányba végzi, ezért a központi cellánál ugyanannyival alacsonyabb cellák közül az ebben az irányban előbb következő cella felé folyik majd tovább a víz. A módszer működését az 6. ábra szemlélteti.



6. ábra: A D-8 módszer működésének szemléltetése. A számok magassági értékeket jelölnek.

Lokális vízgyűjtő-terület és a vízfolyások meghatározása

A lokális vízgyűjtő terület egy az egyes cellákra vonatkozó szám. Azt adja meg, hogy az egyes cellákon hány másik cellából érkező víz halad át. A cellaméretük ismeretében ebből könnyedén kiszámolható, hogy egy-egy cellához mekkora vízgyűjtő terület

tartozik. Mivel az így kapott értékek között nagyságrendi különbségek is lehetnek, ezért érdemes valamilyen nem lineáris, pl. logaritmikus skálát választani a megjelenítésénél.

A vízfolyások meghatározása ezek után úgy történik, hogy a program megkeresi azokat a cellákat, amelyekhez a beállított küszöbértéknél nagyobb lokális vízgyűjtő-terület tartozik. Megadhatunk még egy a vízfolyások minimális hosszúságát szabályozó kritériumot is, ezzel a minimális hosszúságnak beállított értéknél rövidebb vízfolyásokat a program elhagyja. A vízfolyásokhoz tartozó vízgyűjtő medencék területe azokból a cellákból áll, amelyekből a víz végül az adott vízfolyásba folyik bele.

Ideális esetben a vízfolyás tényleg csak ott és addig folya, mint a valóságban, az esetek legnagyobb részében viszont a modellben több úgynevezett gödör is található. Ezek alatt a gödrök alatt olyan cellák értendők, amelyek alacsonyabbak a szomszédos celláknál, ezért a víz belőlük nem folyik tovább. Ezek a gödrök lehetnek a valóságban is létezőek (pl.: töbrök), de keletkezhetnek adathiba vagy az interpoláció eredményeként. Keletkezhetnek még ilyen gödrök akkor is, ha a felhasznált domborzatmodell felbontása nem elegendő ahhoz, hogy egy esetleges a valóságban létező szűk kijárat (amin át víz tovább folyhat) a modellben is megjelenjen. Ha egy ilyen gödröket tartalmazó domborzatmodell alapján, a fenti módon (a lokális vízgyűjtő-terület egy bizonyos küszöbérték felett van) próbáljuk meg a terület vízfolyásait levezetni, akkor nem mindig kapunk összefüggő vízhálózatot. Ez a probléma úgy kezelhető, hogy a domborzatmodellben lévő gödröket a peremükig feltöltjük. Ezt a vízhálózat levezetéséhez használt Global Mapper is elvégzi. Megadható az a maximális mélység, aminél mélyebb gödröket a program a számítás során már nem tölt fel, ezt az értéket nullára állítva a térképek alapjául szolgáló domborzatmodell alapján is nagyon töredezett vízhálózatot adott eredményül a program.

Vízfolyások rendiségének meghatározása

A vízfolyások rendiségének meghatározásakor az egyes vízfolyásokhoz egy-egy számot rendelünk a vízhálózatban elfoglalt helyük szerint. A vízhálózatot ennél az osztályozási módszernél egy irányított gráfhoz hasonlóan képzeljük el. A csomópontokat itt a vízfolyások eredetének helye, illetve a vízfolyások találkozási pontjai adják, az élek maguk a vízfolyások, irányuk a folyásiránynak megfelelő. A vízfolyások sorrendiségének meghatározása történhet fentről lefelé (forrás-torkolat) vagy lentől felfelé (torkolat-forrás) is.

A Gerecse északnyugati részének vízfolyásait bemutató térképen (23. ábra) a

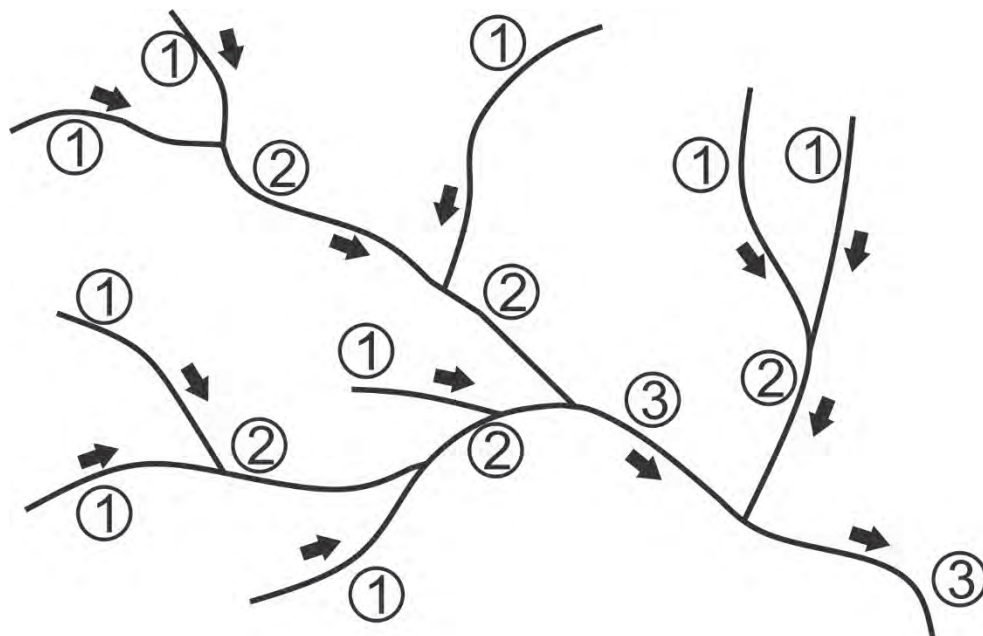
vízfolyások rendiségét a Strahler-féle módszerrel (Strahler, 1952) határoztam meg. Ennek lépései a következők:

- A más vízfolyásokból nem táplálkozó (folyásirányban legelső) vízfolyások az 1 értéket kapják
- Két azonos rendű vízfolyás találkozása után eggyel magasabb rendű vízfolyás következik
- két eltérő rendű vízfolyás találkozása után a következő szakasz a magasabb rendű vízfolyás rendjét kapja

A vízfolyások rendiségének meghatározásának lehetőségét 1932-ben felvető Horton még egy további szabályt is alkalmazott:

- miután a legmagasabb rendű vízfolyás is meghatározásra került, annak összes szakasza ebbe a rendbe kerül átsorolásra, majd így tovább az alacsonyabb rendű vízfolyások szakaszai is megkapják a legmagasabb rendű szakaszaik rendjét. (Horton, 1932)

Strahler rendszerében ez a szabály elhagyásra került, mivel sokszor nem határozható meg egyértelműen, melyik felső szakaszok melyik vízfolyáshoz tartoznak. A 7. ábra egy képzeletbeli vízhálózat szakaszainak a fentebb ismertetett módszer szerinti besorolását mutatja be.



7. ábra Vízfolyások rendiségének meghatározása Strahler szabálya szerint. A nyilak a folyásirányt, a számok a szakaszok rendiségét jelölik.

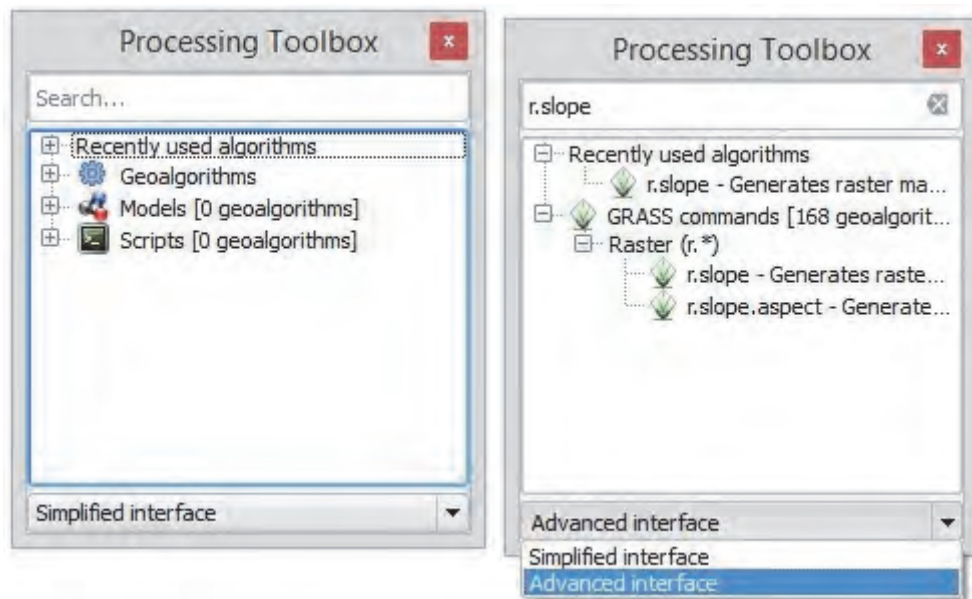
Az elemzések elvégzése

A következőkben azt mutatom be, miként állíthatóak elő az előző fejezetben bemutatott morfometriai paramétereket tartalmazó GRID típusú állományok, illetve, hogy ezek birtokában hogyan határozhatóak meg a vízgyűjtő medencék és a hozzájuk tartozó vízfolyások. Az elemzések elvégzéséhez négy különböző térinformatikai és domborzatmodellező szoftvert használtam: a Quantum GIS-t (QGIS), a Surfer-t, a Global Mapper-t és a SAGA GIS-t (SAGA). Ezen programok használatának alapjait a dolgozatban nem ismertetem, a programok kezeléséhez szükséges információk megtalálhatóak a programok súgójában és kézikönyveiben. Ezek többnyire angol nyelvű ismertetőik, melyeket bizonyos esetben más elterjedtebb idegen nyelvekre is lefordítottak. Néhány tankönyv és jegyzet magyar nyelven is foglalkozik az egyes programok bemutatásával, de ahogy az eredeti nyelven sem, úgy magyarul sem feltétlenül a legfrissebb programverziót ismertetik. A következőkben pusztán az elemzésekhez használt modulok eléréséhez, beállításához és futtatásához szükséges információkat írom le. Mivel az elemzések elkészítéséhez angol verziókat használtam, az alábbiakban az angol nyelvű menüpontokra és programrészekre hivatkozom. Ezeket a szövegben **vastagon** szedtem.

A lejtőkkel kapcsolatos paraméterek kiszámítása

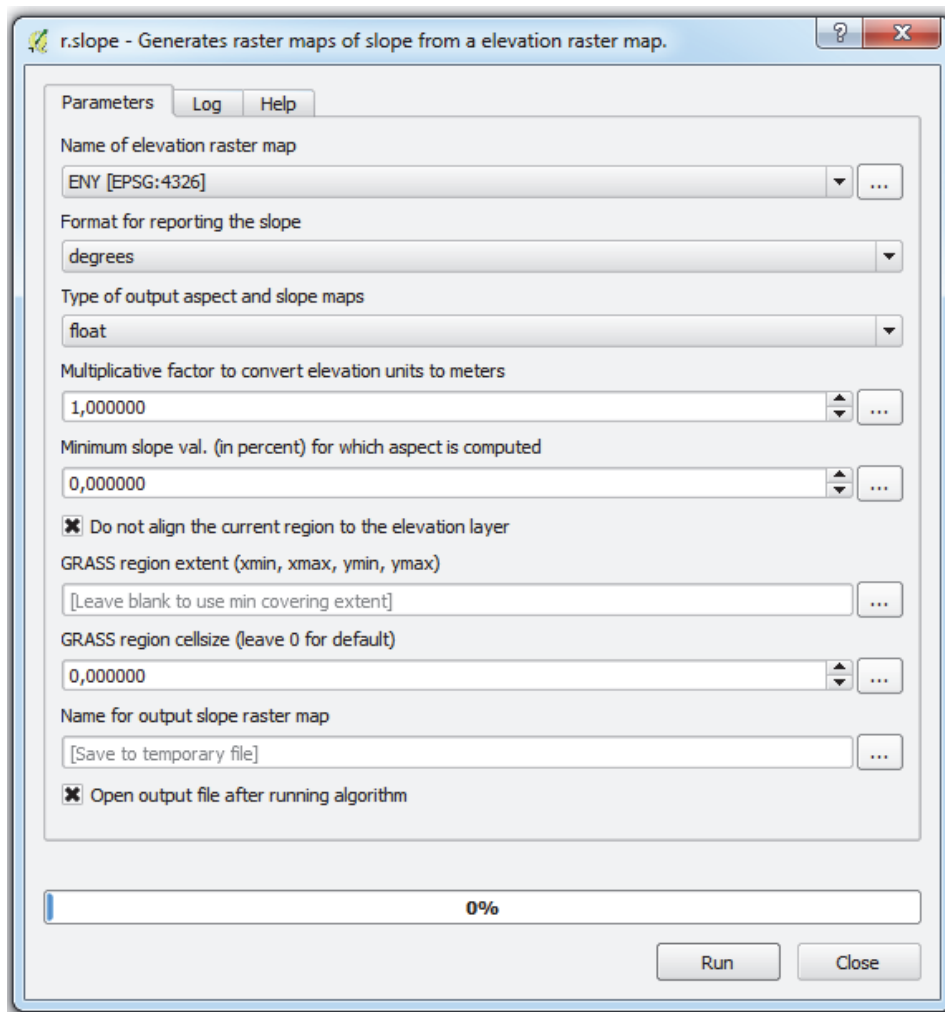
A lejtőszög értékeket tartalmazó raszteres állományt a QGIS segítségével az **r.slope** vagy az **r.slope.aspect** nevű GRASS GIS modul használatával állíthatjuk elő. Előbbivel csak a lejtőmeredekséget, utóbbival a lejtők több más paraméterét is kiszámíthatjuk. A különböző modulok a QGIS-ben a **Processing Toolbox** menüben érhetőek el. A **Processing Toolbox** eléréséhez a menüsorban a **Processing** menüre kattintva, a legördülő menüben a **Toolbox** elemet kell aktiválni.

Ezután a modult a **Simplified interface Advanced interface**-re átváltása után a GRASS commands – Raster (r.*) útvonalon (8. ábra) érhetjük el.



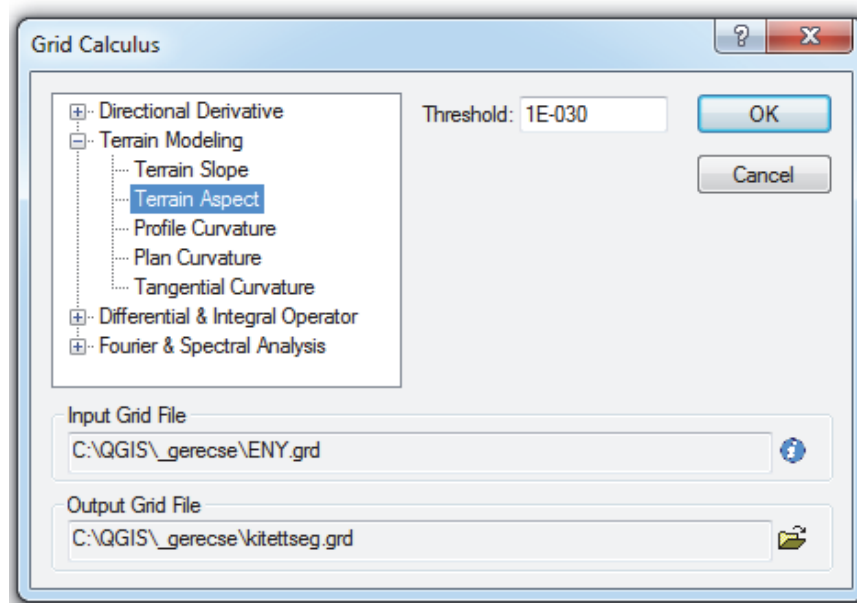
8. ábra. Haladó módba váltás a Processing Toolbox-ban és az r.slope modul kiválasztása

A modul ablakában a **Name of elevation raster map** menüben ki kell választanunk a magassági adatokat tartalmazó raszteres állományt, a **Format for reporting the slope** menüben pedig kiválaszthatjuk, hogy fokban (degrees) vagy százalékban (percent) kapjuk meg az eredményeket. A **GRASS region extent** menüben a határoló koordináták beírásával csak az így megadott területre kapunk eredményt, ha üresen hagyjuk, akkor a magassági adatokat tartalmazó raszter teljes területére kapunk eredményt. (9. ábra)



9. ábra Lejtőszög-értékeket tartalmazó raszteres állomány előállítás az r.slope modullal.

A kitétség és a görbületi értékek kiszámítása a **Surfer10** segítségével történt. A program menüsorán elérhető **Grid** menüből a **Calculus** lehetőség kiválasztása után először ki kell választanunk a magassági adatokat tartalmazó grid fájlunkat, ezután ugrik fel a **Grid Calculus** ablak. Ebben az ablakban a **Terrain Modelling** fület lenyitva érhetjük a legfontosabb lejtőparaméterek kiszámításához használt eljárásokat. A kitétség kiszámításához a **Terrain Aspect** (a Surfer ezt északról az óramutató járásával megegyező irányban számítja fokértékekben), a lejtőirányú görbülethez a **Profile Curvature**, a vízszinteshez a **Plan Curvature**, az érintőirányúhoz pedig a **Tangential Curvature** opció kell, hogy aktiválva legyen (10. ábra).



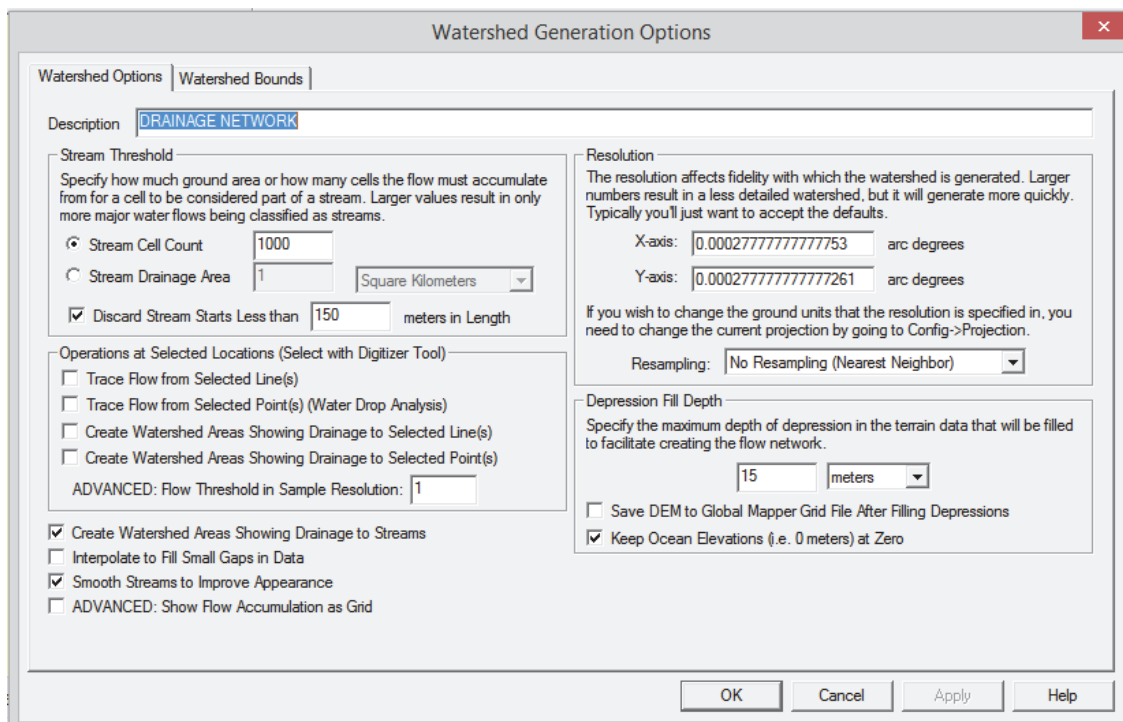
10. ábra Kitétség és görbület számítása a Surfer-ben

Vízgyűjtő-medencék és vízfolyások meghatározása

A vízgyűjtő medencék és a vízfolyások a DEM-ből való kinyerésére szinte minden térinformatikai szoftverben van lehetőség, a következőkben a Global Mapper ilyen funkcióját mutatom be. Első dolgunk a domborzatmodell a programba való behívása. Ha már betöltöttük a domborzatmodellt tartalmazó fájlt, akkor az **Analysis** menüre kattintás után a **Generate Watershed** opciót válasszuk ki.

A felugró **Watershed Generation Options** (11. ábra) ablakban beállíthatjuk a vízgyűjtő és vízfolyás generálás paramétereit. A **Stream threshold** részen meg kell adnunk, hogy mekkora lokális vízgyűjtő-terület értéktől vegye egy vízfolyás részének a cellát a program. Ezt az értéket cellaszámban (**Stream Cell Count**) vagy területben (**Stream Drainage Area**) is megadhatjuk. Ha az egy bizonyos hosszt el nem érő vízfolyásokat figyelmen kívül szeretnénk hagyni, akkor azt a **Discard Stream Starts Less than...** opció aktiválásával tehetjük meg, amjd méterben megadhatjuk a minimális hosszt. A vízgyűjtő-területet tartalmazó GRID felbontását és az interpoláció módját a Resolution és a Resampling menüben adhatjuk meg. A **Depression Fill Depth** részen azt adhatjuk meg, hogy legfeljebb mekkora mélyedést töltsön fel a program. A **Watershed Bounds** fülre váltva megadhatjuk az elemzendő területet, alapértelmezésben ez a betöltött GRID teljes területe lesz. A **Save Save DEM to Global Mapper Grid File After Filling Depressions** opció aktiválásával a Global Mapper saját formátumában elmenthetjük a

gödrök feltöltése utáni magassági értékeket tartalmazó GRID-et. Ezt később a programba betöltve más formátumokba exportálhatjuk. Mivel a program a saját formátumú GRID létrehozásakor egy-egy NULL értékű sor és oszlop is keletkezik a rácsháló déli és keleti határán, ezért az exportálást érdemes úgy elvégezni, hogy azt az eredeti GRID méretére vágjuk meg, így így eltávolítva a felesleges sort és oszlopot. Erre főleg azért van szükség, hogy az így keletkezett állomány az eredetivel azonos kiterjedésű és felbontású, így pedig azzal összehasonlítható legyen. A **Show Flow Accumulation as Grid** opciót is aktiválva pedig a cellánkénti lokális vízgyűjtő terület értéket is megkapjuk. Ezt az értéket mindenképpen kiszámolja az algoritmus, de az opció aktiválása nélkül a számítások elvégzése után nem menthetjük el.



11. ábra Vízgyűjtő-medencék és vízhálózat generálás a Global Mapper programban.

A vízfolyások helyének rögzítése a domborzatmodellben

A vízfolyások helyének rögzítése, azaz az angol nyelvű térinformatikai szoftverek nevezik, a domborzatmodellbe „égetése” (burn streams, burn stream network into DEM) a legtöbb térinformatikai és domborzatmodellező szoftverben megoldható. Leegyszerűsítve itt az a feladat, hogy a DEM azon celláit, amin vízfolyás halad át csökkentsük egy bizonyos értékkel. Így biztosítva azt, hogy a vízfolyások a modell elemzése során tényleg abban a mederben folyjanak, ahol a valóságban. Ahhoz, hogy ezt

megteheessük az eredeti magassági adatokat tartalmazó GRID mellett szükségünk van egy olyan GRID-re is, amiben a vízfolyást nem tartalmazó cellákban 0 (nem NULL), a vízfolyást tartalmazó cellákban pedig 1 érték van. (A vízfolyás celláinak választhatunk más, azonos értéket is. Például azt, amennyivel csökkenteni szeretnénk a cellákat.)

Mivel a vízfolyásokat tartalmazó fájlok általában vektoros formában állnak rendelkezésünkre, ezért szükség van a vektoros állományok alakítására raszteres formátumúra. Fontos tudni, hogy két vagy több GRID-del akkor végezhetőek el a különböző műveletek, ha a méretük, felbontásuk és a vetületük is megegyezik. Ehhez a SAGA GIS programot használtam, a továbbiakban ezért azt mutatom be, hogy ebben a programban hogyan oldható meg a vízfolyások beégetése.

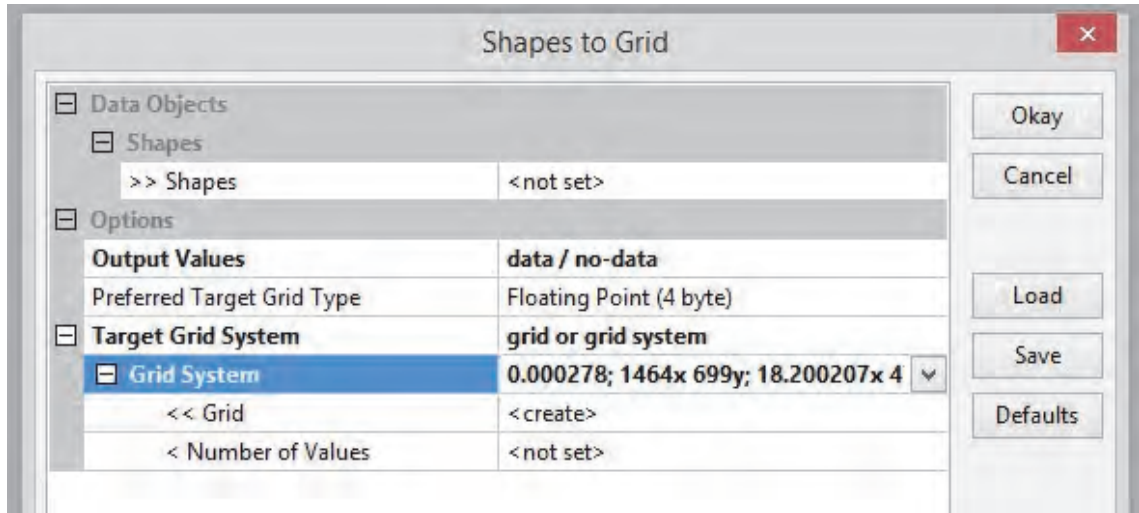
Mindenekelőtt a DEM-et tartalmazó fájlt kell importálni a SAGA-ba. Importálás nélkül, szimplán az Open (Megnyitás) parancsal a gyakran használt raszteres formátumok (GeoTIFF,jpg,grd) nem nyithatóak meg, csak a SAGA saját rendszerű, sgrd kiterjesztésű fájljai. Az importálást a **Geoprocessing – File – Grid – Import – Import Surfer Grid** menükön végighaladva végezhetjük el. Ha nem Surfer Grid fájlt importálnánk, akkor az Import menüben értelemszerűen az importálandó fájlnek megfelelő opciót kell kiválasztani.

Az Import Surfer Grid ablakban a File sorban meg kell adnunk az importálandó fájl elérési útvonalát. Ha a NULL értéket megelőzően másnak nem választottuk, akkor a No Data Value értékének válasszuk a Surfer's No Data Value opciót. A megfelelő fájl és beállítások kiválasztása után az **Okay** gombra kattintva importálhatjuk a programba a kívánt állományt.

A következő lépés a beégetni kívánt vízfolyásokat tartalmazó vektoros állomány behívása a programba. Ez az előbbieknél jóval egyszerűbb, mivel a Shapefile-okat a SAGA mindenféle átalakítás nélkül is kezeli. A **File** menü **Open** lehetőségére kattintás után felugró ablakban adhatjuk meg a megnyitni kívánt Shapefile útvonalát.

A harmadik lépés a vízfolyásokat tartalmazó vektoros állomány raszteressé alakítása.(12. ábra) Ehhez a SAGA **Shapes to grid** modulját kell használnunk, amit a **Geoprocessing – Grid – Gridding – Shapes to grid** útvonalon érhetünk el. A felugró **Shapes to Grid** ablakban a >> **Shapes** sorban lévő legördülő menüből a vízfolyásokat tartalmazó vektoros állományt kell kiválasztani. Ez után az **Output Values** sorban pedig a **data / no-data** opciót. Ez annyit jelent, hogy az eredményül kapott GRID vízfolyást tartalmazó cellái 1, a vízfolyást nem tartalmazóak pedig NULL értéket kapnak. A **Target**

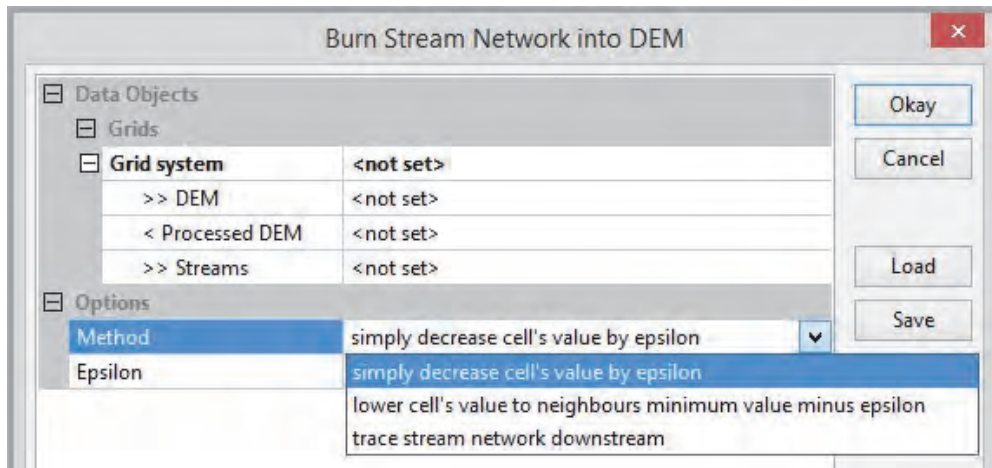
Grid System sorban a **grid or grid system** opció kiválasztása után a **Grid System** sorban a legördülő menüből az eredeti magassági adatokat tartalmazó GRID rendszerét kell kiválasztani. Így a létrejövő GRID pont ugyanabban a rendszerben lesz, mint az eredeti magassági adatokat tartalmazó.



12. ábra Vektoros állomány GRID típusúvá alakítása.

Miután az eredeti magassági adatokat tartalmazó GRID mellett már a vízfolyásokat tartalmazó GRID is rendelkezésre áll következhet a vízfolyások a magasságmodellbe égetése. Ehhez a **Geoprocessing – Terrain Analysis – Preprocessing – Burn Stream Network into DEM** útvonalon elérhető modulra van szükség. A modul ablakában >>**Grid system** sorban ki kell választani az eredeti magassági adatokat tartalmazó GRID rendszerét, ezek után pedig a >>**DEM** sorban kiválaszthatóvá válik az eredeti magasságmodell is. A >>**Streams** sorban a vízfolyásokat tartalmazó GRID fájlt kell kiválasztani.

Az **Options** rész **Method** sorában a beégetéshez használt módszert kell kiválasztani. Az első opciót választva egyszerűen csak csökkentjük egy megadott értékkel az eredeti GRID vízfolyást tartalmazó celláit, a második opciót választva a vízfolyást tartalmazó cellák a legalacsonyabb szomszédjuknál a megadott értékkel lesznek kisebbek. A harmadik opcióhoz egy a folyásirányokat tartalmazó fájlra is szükség van, a folyásirányok és a vízfolyást tartalmazó cellák ismeretében úgy alakítja a vízfolyást tartalmazó cellákat, hogy a folyásirány szerint következő cella mindig alacsonyabb legyen az előtte lévőnél. Az **Epsilon** sorban a csökkentés mértékét adhatjuk meg. (13. ábra)



13. ábra A vízfolyások a magasságmodellbe égetése.

TRI kiszámítása

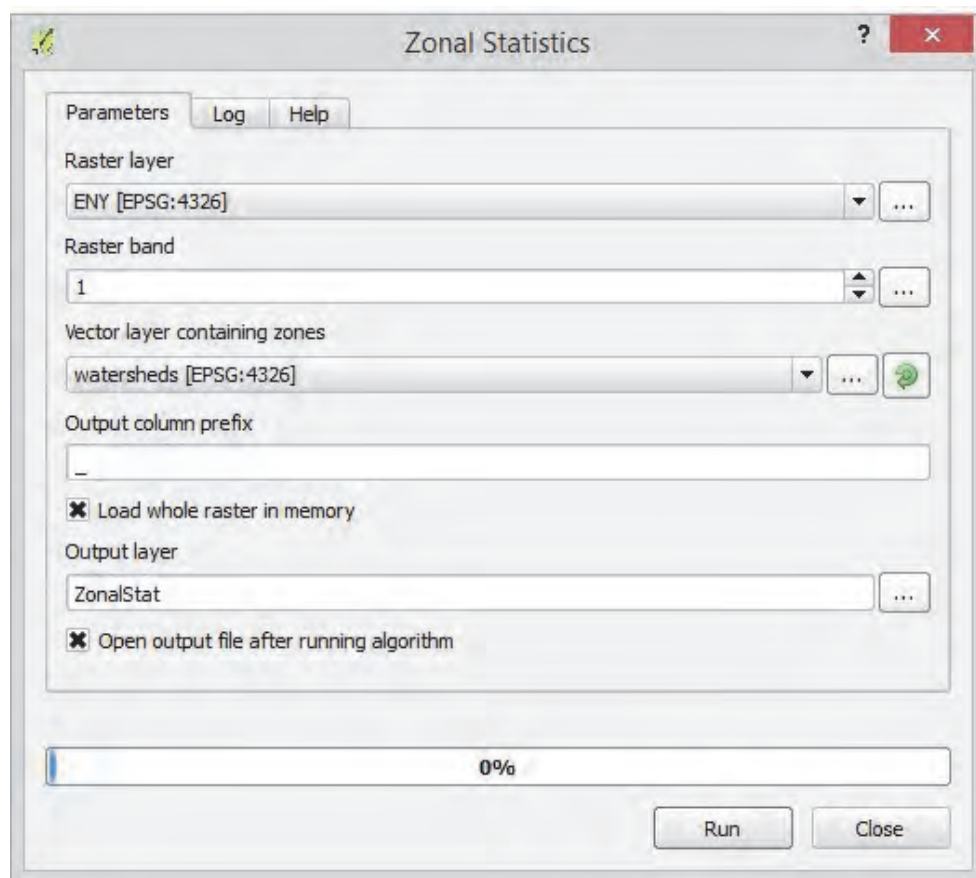
A felszíntagoltsági mutató kiszámítása a QGIS segítségével igen egyszerű. A Processing Toolbox-ból a GDAL/OGR – [GDAL] Analysis – TRI (Terrain Ruggedness Index) útvonalon elérhető modult használva elég csupán a domborzatmodellt tartalmazó raszteres állományt kiválasztanunk (**Input Layer**), majd megadni, hogy milyen útvonalon hozza létre a modul a TRI értékeket tartalmazó állományt (**Output file**). Ennek a modulnak az esetében az eredményt a központi cella és a szomszédos cellák magasságkülönbségeinek átlagaként kapjuk meg.

Területre vonatkozó statisztikák készítése

A vízgyűjtő-medencék előállításakor az egyes vízgyűjtőket magukba foglaló poligonokat kapjuk eredményül a Global Mapperben. Ezek a poligonok viszont még csak a vízgyűjtők elhelyezkedéséről és alakjáról adnak információt, a rájuk vonatkozó morfológiai paraméterek kinyeréséhez még további lépések szükségesek. A területre vonatkozó statisztikák elkészítéséhez a területek poligonjait tartalmazó vektoros állományon kívül szükség van a statisztikák készítéséhez felhasználandó adatokat tartalmazó raszteres állományokra is. A legkézenfekvőbb a statisztikák elkészítéséhez magának a domborzatmodellnek a használata, de érdekes lehet a lejtőmeredekség értékek ilyen vizsgálata is.

Miután a vízgyűjtőket tartalmazó vektoros és a magassági adatokat tartalmazó raszteres állományt betöltöttük a QGIS-be a területre vonatkozó statisztikák elkészítése a **Zonal Statistics** modul segítségével történik. A modul a Processing Toolboxban a **QGIS**

geoalgorithms – Raster tools – Zonal Statistics útvonalon érhető el. A Zonal Statistics ablakban a **Raster layer** legördülő menüből ki kell választani az elemezni kívánt raszteres állományt (esetünkben a magasságmodell egy részletét tartalmazó állományt), a **Vector layer containing zones** legördülő menüből pedig az elemezni kívánt területeket tartalmazó vektoros állományt. Az **Output column prefix** sorban megadhatjuk, hogy a modul milyen előtagot adjon a statisztikákat tartalmazó mezőknek az eredmény fájl attribútum táblájában. Az **Output layer** sorban megadhatjuk, hogy milyen útvonalon hozza létre a modul az eredményt tartalmazó fájlt. Alapértelmezésben csak ideiglenes fájlként hozza létre a modul az eredményt. (14. ábra)



14. ábra A QGIS Zonal Statistics modulja.

A modul a raszteres állomány celláit vizsgálja a vektoros állomány egyes poligonjai területén. Ennek során a poligonokra vonatkoztatott cellaérték statisztikai paramétereit tartalmazó mezőkkel egészíti ki a poligonokhoz tartozó adatbázist (15. ábra), majd ezt egy új Shape file-ként menti el a megadott útvonalon. Így információt kapunk az egyes poligonok területére eső legkisebb (min), legnagyobb (max) és összesített (sum) értékéről, a területre eső cellák számáról (count), az értékek átlagáról (mean), szórásáról

(std, a standard-deviation rövidítése), az egymástól különböző értékű cellák számáról (unique), a legnagyobb és a legkisebb érték különbségéről (range) és az értékek szórásnégyzetéről (var).

_min	_max	_sum	_count	_mean	_std	_unique	_range	_var
104.000000	110.000000	61573.000000	579.000000	106.343696	1.050211	7.000000	6.000000	1.102944
104.000000	112.000000	110799.000000	1033.000...	107.259439	1.414375	9.000000	8.000000	2.000455

15. ábra . A QGIS Zonal Statistics modulja által létrehozott mezők a vizsgált területek poligonjait tartalmazó adatbázisban.

A modult a vízgyűjtő-medencéket tartalmazó vektoros és a magasságmodellt vagy akár valamely abból származtatott morfolometriai paramétereket tartalmazó raszteres állománnyal lefuttatva hasznos információkat nyerhetünk a vízgyűjtők domborzati viszonyairól. A vízgyűjtők így meghatározott reliefje és a területek nagysága ismeretében pedig a vízgyűjtő-medencékre vonatkozó reliefenergia (m/km^2) értéke is kiszámítható.

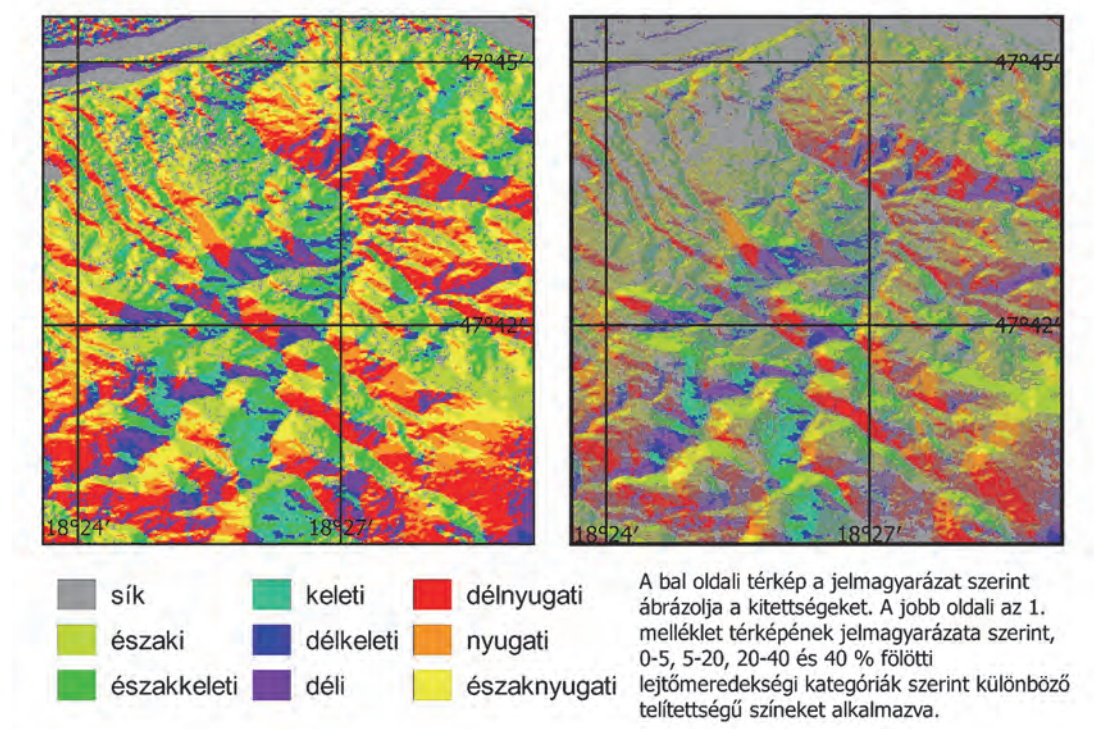
Az eredmények bemutatása

Ebben a fejezetben bemutatom az elkészült térképeket és összefoglalom a dolgozat készítése alatt végzett munkámat. A térképek bemutatásakor kitérek az elkészítésük során felmerült nehézségekre, az alapjukul szolgáló adatok esetleges hibáira, az elemzések hiányosságaira, valamint az adatok térképi megjelenítéséhez használt módszerek kiválasztásának szempontjaira.

Morfometriai paraméterek térképei

Kitettség- és lejtőtérkép

A Gerecse északnyugati részének kitettség- és lejtőtérképének (1. melléklet) elkészítésénél a Cynthia A. Brewer és Ken A. Marlow által leírt módszert (Brewer – Marlow, 1993) alkalmaztam. A módszer lényege, hogy a lejtők kitettségét bemutató térképeken (16. ábra) az egyes elemek – jelen esetben a GRID cellái– nem pusztán a kitettségük iránya szerint vannak kategorizálva, hanem lejtőmeredekség szerint is.



16. ábra A Bikol-patak völgyének kitettség-térképei.

A cellákat kitettség szerint itt nyolc kategóriába soroljuk: északi, északkeleti, keleti, délkeleti, déli, délnyugati, nyugati, északnyugati irány. Lejtőmeredekség szerint négy

kategóriát különböztetünk meg: 5 % alatti, 5-20 %, 20-40 % és 40 % fölötti meredekség. Először a kitettség szerinti kategóriákhoz rendelünk színértékeket, ezek lesznek kitettségi kategóriánként a legmeredekebb lejtőkategóriába eső területek színei. A kevésbé meredek, 20-40 illetve 5-20 %-os lejtőkhöz ezeknek a színeknek a kisebb telítettségű változatait rendeljük, a legkevésbé meredek, 5 % alatti lejtésű területek pedig egységesen szürke színt kapnak függetlenül a kitettségüktől.

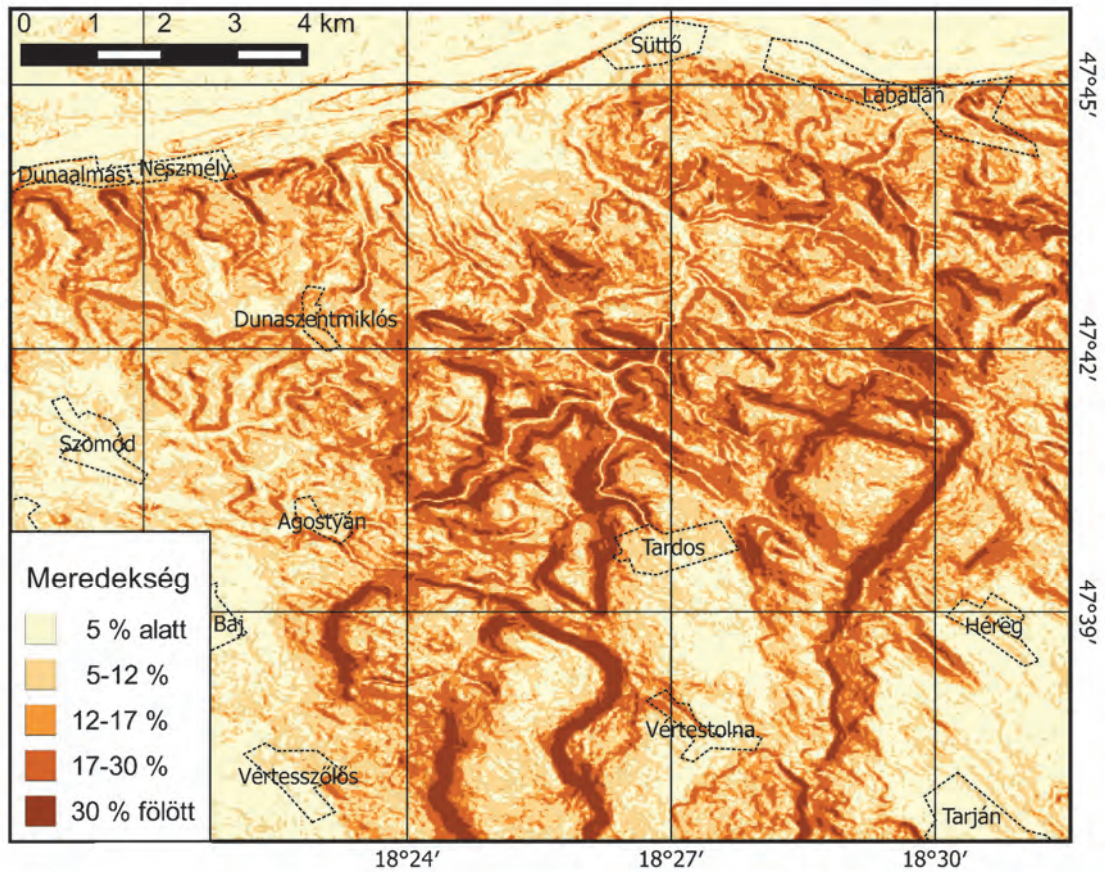
A fent ismertetett módszerrel és a csak kitettség szerint kategorizálva készült térképek a 16. ábra alapján hasonlíthatóak össze. A csak kitettség kategorizált térkép színei megegyeznek a lejtőmeredekség szerint is kategorizált térkép legmeredekebb lejtőihez rendelt színekkel, így biztosítva az összehasonlíthatóságot. Véleményem szerint ezekkel a színkategóriákkal a csak a kitettséget bemutató térképen jobban elkülöníthetőek az egyes kategóriák, a lejtőmeredekség szerint is kategorizált megjelenítésnél viszont a domborzat jellege is kivehető, az egyes domborzati formák könnyebben megkülönböztethetőek. Megjegyzendő még az is, hogy az egymástól alig különböző színárnyalatok használata miatt – különösen nyomtatott formában – az 1. melléklet térképén az egyes lejtőkategóriák szerint csoportok közül az alacsonyabbak (5-20, 20-40 %) sokszor igen nehezen különböztethetőek meg. Igaz, a lejtőkategóriák szerint is való osztályozás célja ennek a térképnek az esetében inkább a szemléletesebb megjelenítés, nem a könnyű mérhetőség.

Lejtőtérkép

A Gerecse északnyugati részének lejtőtérképének (17. ábra) alapjául szolgáló adatokat a Módszerek című alfejezetben bemutatott módon állítottam elő a domborzatmodellből, majd számoltam át százalékos formába. Az adatokat öt kategóriába rendeztem lejtőmeredekség szerint, a kategóriák határai részben a MEPAR adatbázisában elérhető lejtőmeredekséget bemutató tematikus fedvények (12 %-os, vízerózió által érintett területek és 17 %-os területek) alapján kerültek meghatározásra. A sík vagy ahhoz közeli területek az 5 % alatti kategóriába kerültek, ezt az 5-12 %, 12-17 % és a 17-30 %-os kategória követte. Az utolsó kategóriába a legmeredekebb területek kerültek, ezek a 30%-ot meghaladó meredekségű részek. A bemutatott kivágoton véleményem szerint jól kirajzolódnak a patak völgyek, illetve jól látszanak a sasbércek laposabb tetői és a hegyláb részekre meredeken leszakadó peremi részeik is.

Ahogy azt a Módszerek című fejezetben is említettem

a lejtőmeredekség GRID típusú adatok alapján történő kiszámításának számos módszere létezik, melyek a meredekség kiszámításánál nem mind ugyanazokat a szomszédos cellákat és nem mind ugyanazzal a súllyal veszik figyelembe. Jelen munkának nem célja, de érdemes lehet e különböző módszerek összehasonlítását is elvégezni.

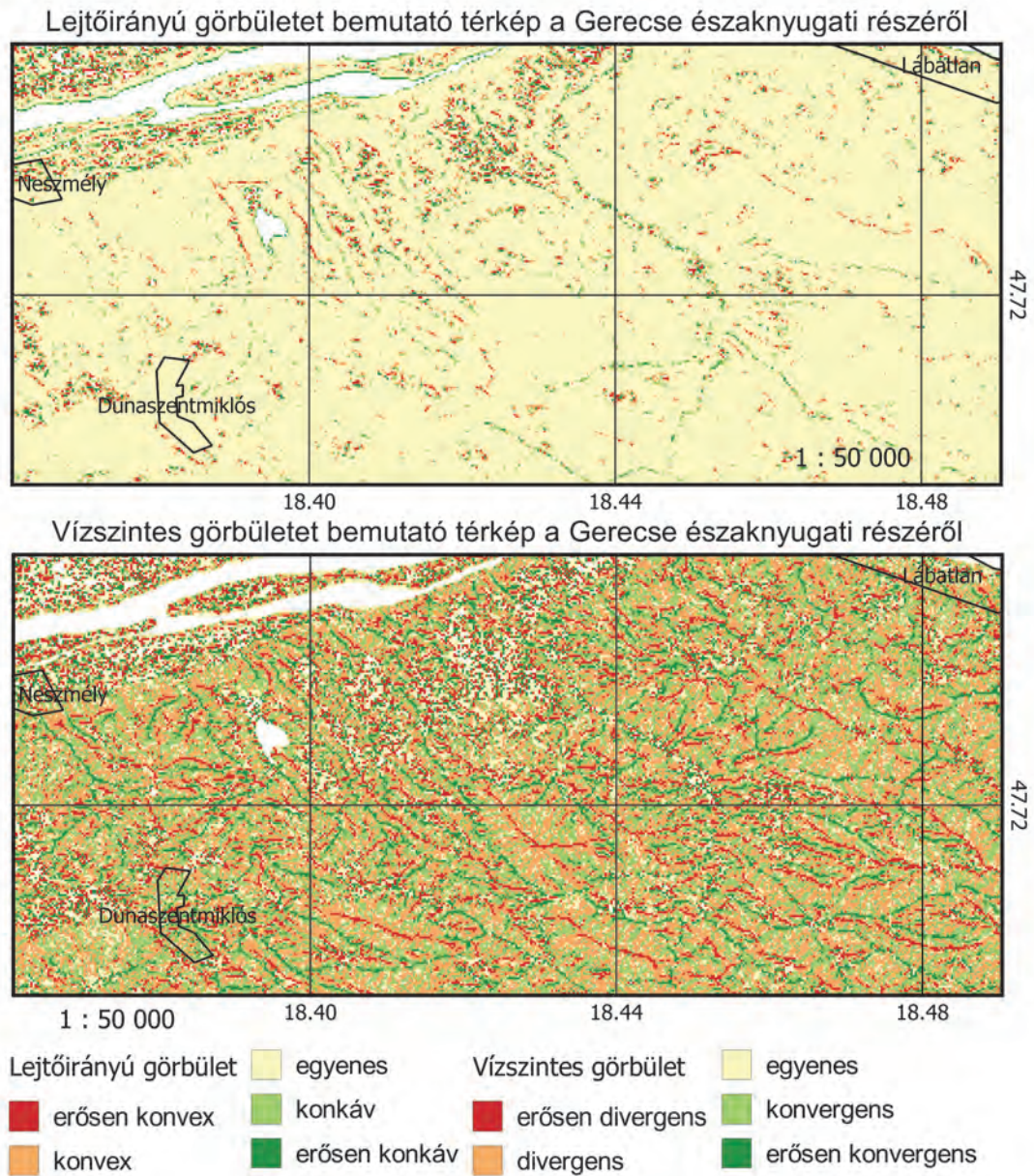


17. ábra A Gerecse fő tömegének lejtőmeredeksége. 1 : 75 000

Görbületet bemutató térképek

Az Elemzési módszerek című fejezetben három különböző görbületi értéket mutattam be, a Görbületi térképek című ábra (18. ábra) térképein ezek közül kettő, a lejtőirányú és a vízszintes görbület került ábrázolásra. Ennek oka, hogy a vízszintes és az érintőirányú görbületek közötti nagy hasonlóság. A görbületi értékek pozitív és negatív értékeket is felvehetnek, ezért a térképi ábrázolásukhoz ötös beosztású, széttartó skálát alkalmaztam. A nullához közeli sávba eső értékeket mindkét paraméter esetében az „egyenes” kategóriába soroltam (ezek a lejtőirányú görbület K_P esetén: -0,0001 és 0,0001; a vízszintes görbület K_H esetén: -73 és 73 közötti értékek voltak). Az értékek minimumához közeli értékeket a lejtőirányú görbület esetében az erősen konvex, a vízszintes görbület

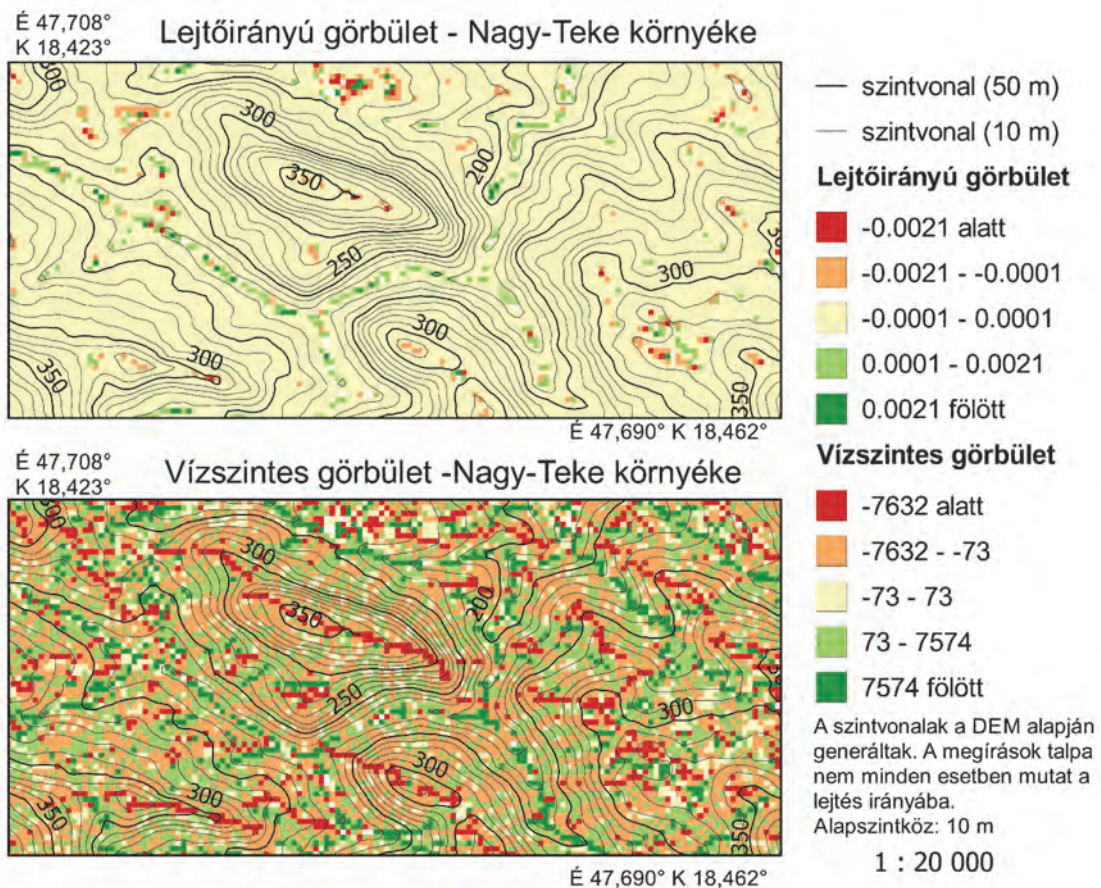
esetében az erősen divergens kategóriába soroltam. A maximumhoz közeli értékek az erősen konkáv és az erősen konvergens értéket kapták. A szélsőértékek és a nullához közeli (egyenes) sávok közötti értékek a negatív tartományban a konvex illetve a divergens, a pozitívban a konkáv illetve a konvergens kategóriába lettek besorolva.



18. ábra Görbületi térképek

A lejtőirányú görbületet bemutató térképen a konkáv értékek jól kirajzolják a vízfolyások medreit, völgytalpakat és a nagyobb víztömegek partvonalát. A konvex kategóriába sorolt területeken jellemzőbb lehet az erózió, a talaj lepusztulása, illetve inkább ezeken a részeken fordulhatnak elő lejtős tömegmozgások. A vízszintes görbületet bemutató térképen a konvergens kategóriákba eső területek jól kijelölik a völgyvonalak

környékét, a divergens, különösen az erősen divergens részek pedig a hegyhátak futását. Hogy ezt jobban kivehetővé tegyem a 19. ábra térképein egy nagyobb méterarányú kivágaton, a QGIS-ben a domborzatmodell alapján generált szintvonalakkal kiegészítve jelenítettem meg a görbületi értékeket. A jelmagyarázatban ebben az esetben a kategóriahatárok számértékei szerepelnek, ez a beosztás megegyezik a 18. ábra térképeinek beosztásával.



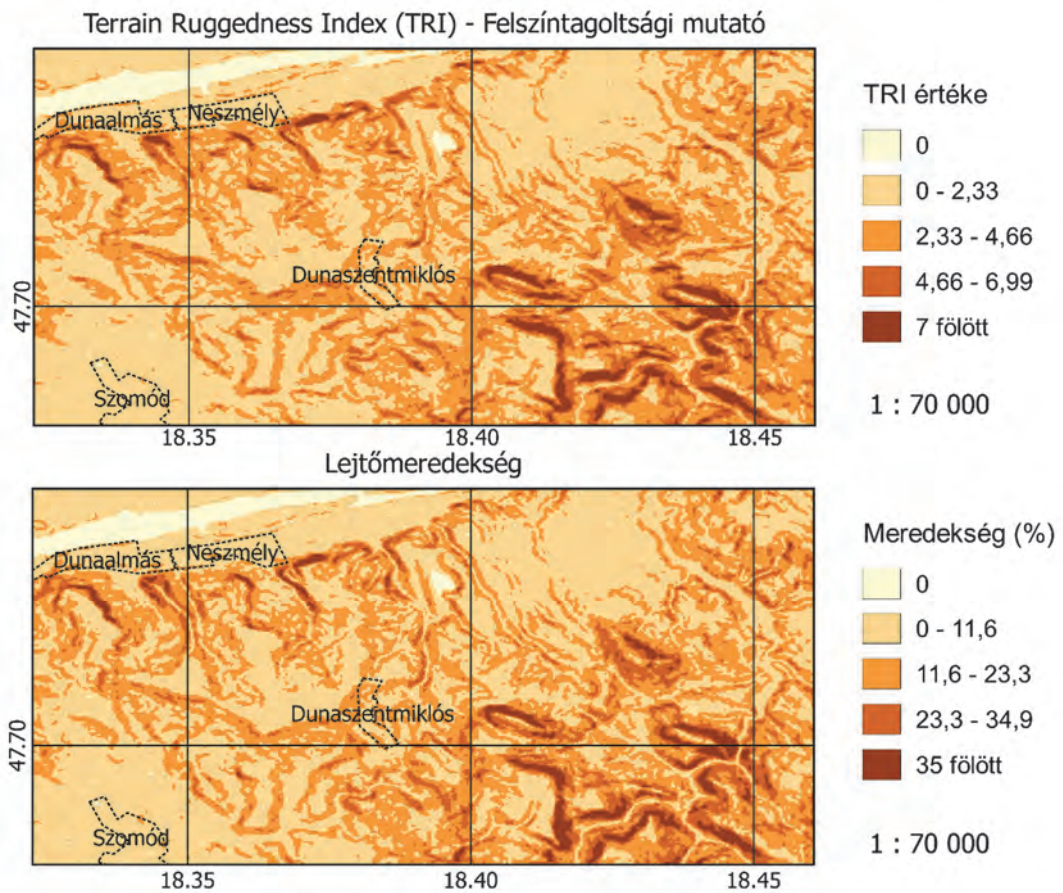
19. ábra Görbületi értékek a Nagy-Teke környékén – 1 : 20 000

Felszíntagoltsági mutató (Terrain Ruggedness Index, TRI)

A TRI-t bemutató térképet a hasonló módon megjelenített lejtőmeredekség térképpel összehasonlítva mutatom be. (20. ábra) Ennek oka e két elemzési módszer eredményeinek igen hasonló eloszlása. A hasonló eloszlás oka feltehetően az, hogy a paraméterek (TRI, lejtőmeredekség) kiszámításához használt módszerek ugyanúgy egymáshoz közeli cellák magasságkülönbségein alapul. A kategóriák határainak meghatározása mindkét térkép adatainak esetében a következő módon történt:

Összesen öt-öt kategória került meghatározásra. Ezekből egy a nulla (nem NULL) értékű mezőké, egy az adatok legfelső 2 %-áé, a nulla és a legfelső 2 % határa közötti

intervallumot pedig három további részre osztottam.

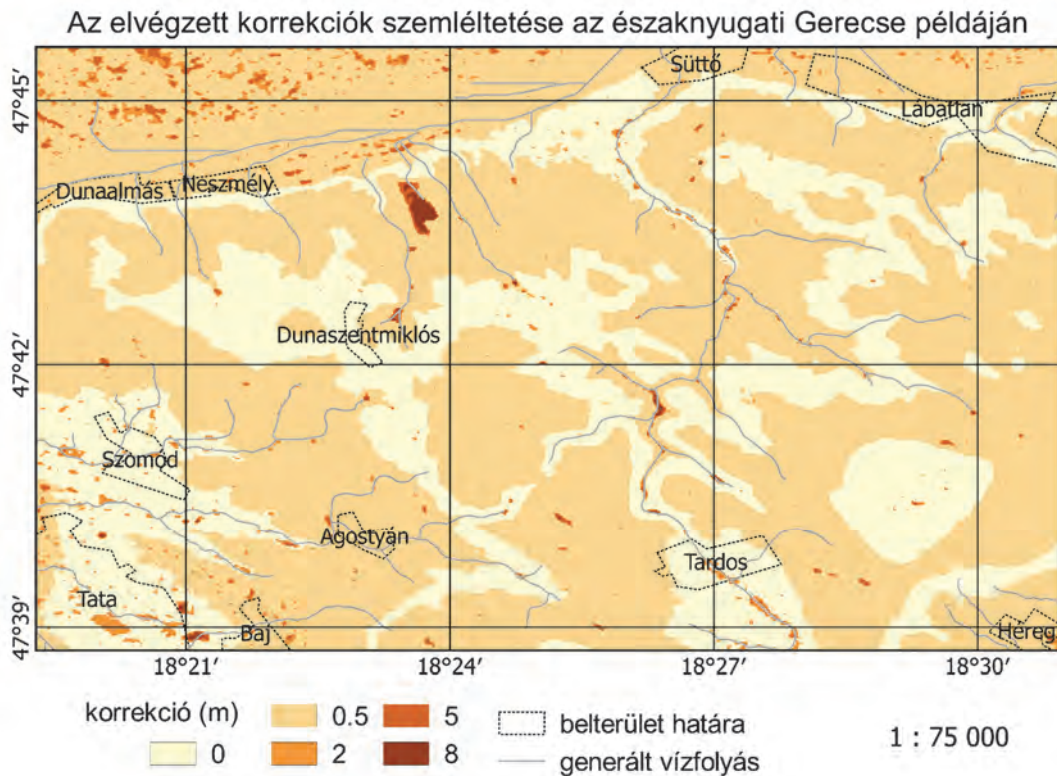


20. ábra TRI és lejtőmeredekség térképek

Hidrológiai paraméterek térképei

A domborzatmodellen elvégzett – pusztán a magassági adatok és a belőlük származtatható paraméterek felhasználásával készült – hidrológiai elemzések eredményeit két térképen mutatom be, egy további térképen pedig a domborzatmodell a hidrológiai elemzésekhez való előkészítésekor elvégzett korrekciók mértékét szemléltetem. Az egyik térkép a cellánkénti lokális vízgyűjtő területet (angolul: flow accumulation), a másik pedig az előbbi alapján meghatározott vízfolyásokat és azok Stahler szablya szerinti rendiségét ábrázolja. A korrekciókat bemutató térkép (21. ábra *Az elvégzett korrekciók*) az eredeti és a „gödrök feltöltése” utáni magasságmodell különbségét szemlélteti. A korrekciók mértéke mellett a térképen ábrázoltam a „Lokális vízgyűjtő-terület és a vízfolyások meghatározása” című fejezet részben ismertetett módon, a „Vízgyűjtő-medencék és vízfolyások meghatározása” című alfejezetben ismertetett lépések elvégzésével generált vízfolyásokat is. Vízfolyáshoz tartozó cellának

a legalább 2000 másikkal vízhez jutó cellákat vettem, az így létrejövő vízfolyások közül pedig a 150 méternél hosszabbakat tartottam csak meg.

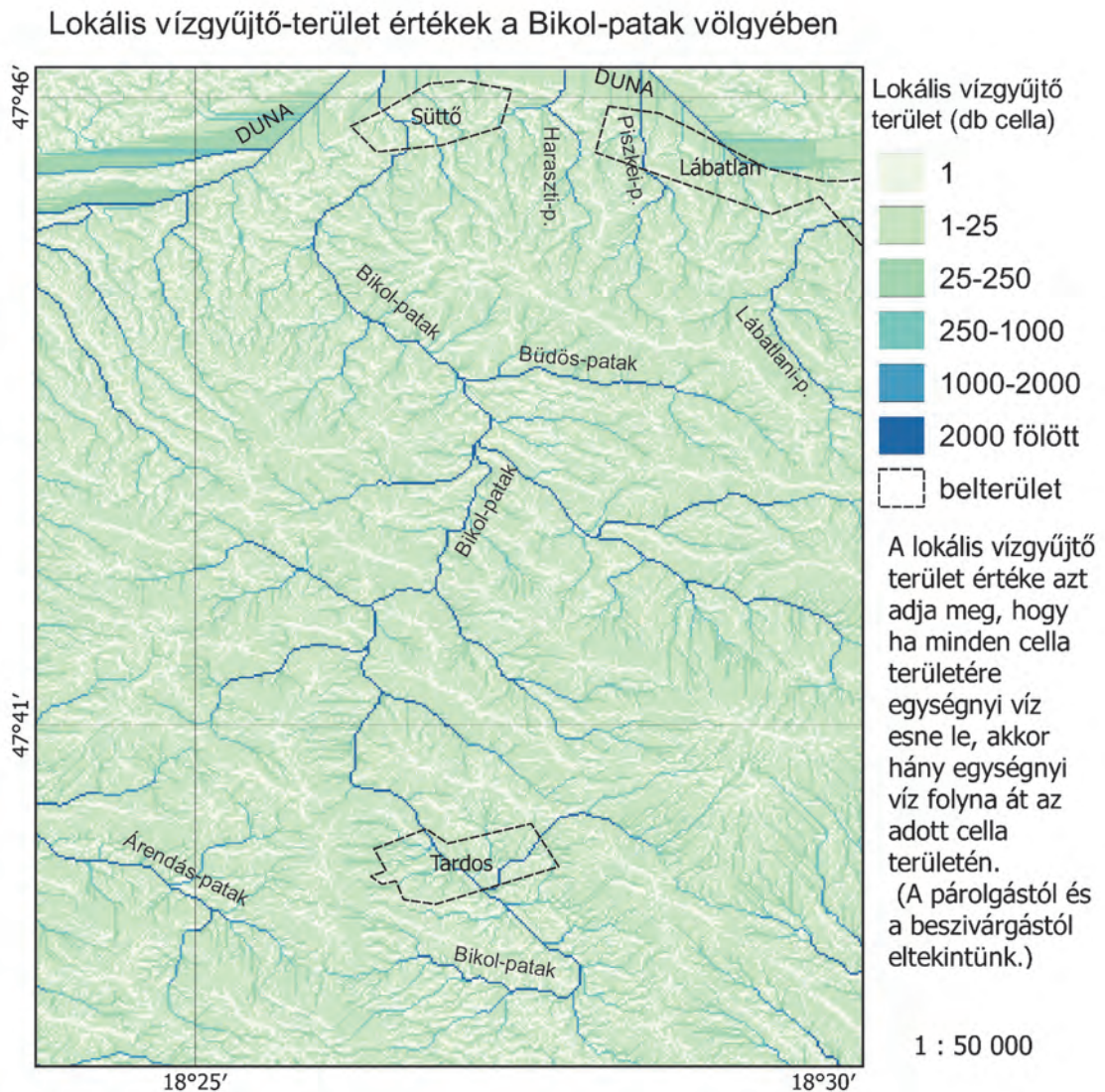


21. ábra Az elvégzett korrekciók

A vízfolyások a modellezés során mind 1-1 cella vastagságúként állnak elő. Ez kisebb méretarányokban a patakok esetében nem zavaró, megjelenítésük amúgy is inkább vonalas, mint felületi elemként történne. Az alkalmazott méretarányokban egyértelműen felületként megjelenő vizek esetében pusztán a vízfolyások meghatározásához használt algoritmusok eredményeit megjeleníteni már problémásabb. Igaz, ezek az összefüggő vízfelületek a modellben is azonos magasságú cellákként jelentkeznek, így ez alapján akár a vízfelületek is meghatározhatóak, vektoros elemmé alakíthatóak.

A vízfolyások helyének rögzítésére, azaz a „vízfolyások beégetésére a domborzatmodellbe” egy esetben, a Neszemélytől keletre található zagytarózó nyugati oldalán került sor. Erre azért volt szükség, mert ismeretes, hogy a felmérés óta a Gerecse felől érkező, a tározó keleti oldalán futó vízfolyás útját mesterséges módon elzárták, a vízfolyást pedig így a nyugati oldalra terelték.

Lokális vízgyűjtő terület térképe

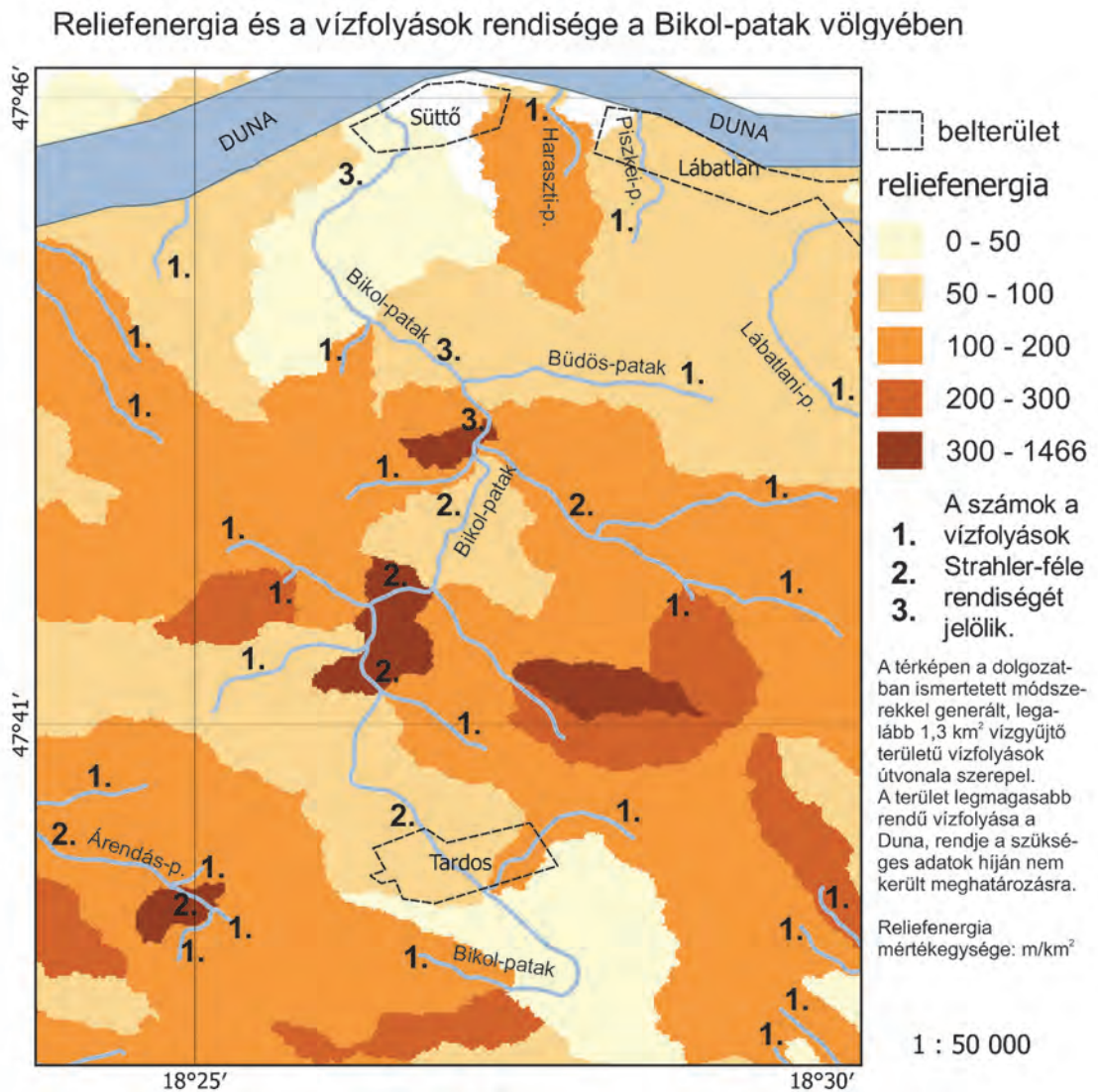


22. ábra Lokális vízgyűjtő-terület értékek a Bikol-patak völgyében

Az egyes cellákra vonatkoztatott lokális vízgyűjtő-területek értékei között igen nagy különbségek mutatkoztak, ezért a megjelenítéshez használt skála beosztását is ennek figyelembe vételével választottam meg. A kategóriák határainak megválasztásánál arra törekedtem, hogy ne csak az egyes nagyobb vízfolyások legyenek jól kivehetőek, hanem általában a víz lefolyásának útja is. A térkép méretarányában ugyan a Duna mint felületi elem jelentkezik, de a vízfolyások, mint mindenhol, itt is vonalas elemként jelennek meg. Észrevehetőek a partoktól kiinduló a modellben azonos magasságú pontokkal leírt Dunán futó NY-K irányú „csíkok” is. A folyásirányok meghatározásához használt D-8 algoritmus (6. ábra) az ilyen sík területeken is csak egy-egy következő cellába folytatja át a vizet, a „csíkok” tehát ezért jöhettek létre. A magasabb, lejtősebb területeken

véleményem szerint már jóval pontosabb és szemléletesebb képet ad a vizek lefolyásáról a térkép. (22. ábra)

Reliefenergia és a vízfolyások rendisége



23. ábra Reliefenergia és a vízfolyások rendisége a Bikol-patak völgyében.

A 23. ábra térképen a „Vízgyűjtő-medencék és vízfolyások meghatározása” fejezet részben ismertetett módon a domborzatmodellből előállított vízgyűjtők, a hozzájuk tartozó reliefenergia érték, a vízfolyások és azok Strahler-féle rendisége kerültek ábrázolásra. A vízfolyások rendisége a magassági értékek ismeretében, nem automatikus módon került meghatározásra. Ugyan léteznek a rendiséget meghatározó algoritmusok is, de igen sokféle bemenő adat szükséges a futtatásukhoz, így ezt jóval bonyolultabbnak ítélem, mint a vízfolyások eredési és találkozási pontjainak ismeretében a térképről

manuálisan meghatározni a rendiségeket. Egy jóval több elemű, sűrűbb vízhálózat esetében előfordulhat, hogy érdemes mégis az automatizált rendiség meghatározás mellett dönteni.

Összefoglalás

Munkám során ismertettem a különféle morfolometriai paramétereket, azok meghatározásához alkalmazott számítási módszereket, majd a bemutatott módszerek használatával történő elemzések végrehajtásának lépéseit. Az elemzéseket a globális lefedettségű, 1” felbontású SRTM modell a Gerecse északnyugati területeit tartalmazó részén (n47_e018_1arc_v3) végeztem el, majd az eredményeket több térképen is szemléltettem. Véleményem szerint már ez az 1” felbontású magasságmodell is alkalmas különböző morfolometriai elemzések elvégzésére, természetesen csak azokon a területeken, ahol a felmérés idején nem volt túlságosan sűrű a növényborítottság.

Az északnyugati gerecsei mintaterület erdős részeit legnagyobb részt lombhullató fák adják, a felmérést pedig tél végén (2000 február 11-22.) végezték, ezért a növényzeti fedettség zavaró hatása kisebb mértékben érvényesül az adatokban. Ezt pontosan ellenőrizni csak a felmérés idejéből származó, egy biztosan csak a csupasz földfelszín és egy a lombkorona szintjét tartalmazó modell rendelkezésre állásakor lenne lehetséges.

Az itt bemutatott elemzési módszerek segítségével készített, illetve a bemutatott morfolometriai paramétereket digitális domborzatmodell alapján levezető, azokat ábrázoló térképekből itthon igen kevés készült, így véleményem szerint új megközelítésben tudtam bemutatni a témát. Úgy gondolom, jelen munka során sikerült a domborzatmodellek alapján végzett morfolometriai elemzések széles skáláját kellő mélységben bemutatnom az északnyugati Gerecse példáján. A hasonló elemzési módszerekkel, akár jobb felbontású domborzatmodell használatával kapott morfolometriai paramétereket tartalmazó modellek hasznos részei lehetnek egy a felszín formálódását vizsgáló vagy éppen hidrológiai elemzési rendszernek.

Irodalomjegyzék

- Albert, G. (2013). A kópatak völgye. *Természet Világa*, 144(2), pp. 85-86.
- Bлага, L. (2012). Aspects regarding the significance of the curvature types and values in the studies of geomorphometry assisted by GIS. *Analele Universităţii din Oradea – Seria Geografie*, 22.(2.), pp. 327-337.
- Brewer, C. – Marlow, K. A. (1993). Color Representation of Aspect and Slope Simultaneously. In *Eleventh International Symposium on Computer-Assisted Cartography* pp. 328-337.
- Clarke, J. (1966). Morphometry from Maps. In *Essays in Geomorphology*. pp. 235-274. New York: Elsevier Publishing Company.
- Elek, I. (2009). *Bevezetés a geoinformatikába*. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó.
- Farr, T. G. et al. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys*, 45., RG2004.
- Földmérési és Távérzékelési Intézet. (2006). Nagyfelbontású digitális domborzat modell az ország teljes területére. Budapest. Letöltés dátuma: 2016. április, forrás: https://www.geoshop.hu/images/static/ELK-DDM-5_Termek_ismerteto.pdf
- Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium. (2003). 115/2003 FVM. Rendelet. Forrás: https://www.mvh.gov.hu/documents/20182/185024/15_4/00a810c6-7385-432c-9a92-77f7f5ef0808
- Gönczy, S.– Szalai, K. (2004). *Geomorfológiai fogalomgyűjtemény (oktatási segédanyag a földrajz szakos főiskolai hallgatók számára)*. Beregszász: Kárpátaljai Magyar Pedagógusszövetség Tankönyv- és Taneszköztanácsa.
- Hofton, M. – Dubayah, R. – Blair, J.– Rabine, D. (2006). Validation of SRTM elevations over vegetated and non-vegetated terrain using medium footprint lidar. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), pp. 279-285.
- Horn, B.– Schunck, B. (1981). Determining optical flow. *Artificial Intelligence*, 17, pp. 185–203.
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Eos Trans. AGU*, 13(1), pp. 350–361.
- Juhász, Á. (2002). A Dunántúli-középhegység. In: Karátson D., *Magyarország földje* pp. 339-354.. Budapest: Magyar Könyvklub.

- Kertész, Á.– Karátson, D. (2002). Morfometria. In: Karátson D., *Magyarország földje* pp. 468-469. Budapest: Magyar Könyvklub.
- Magyar Értelmező Kéziszótár.* (2003). vízfolyás szócikk p. 1478., Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Marino, A. (2012). A New Target Detector Based on Geometrical Perturbation Filters for Polarimetric Synthetic Aperture Radar (POL-SAR). *Springer Theses.*
- Miller, C. – Laflamme, R. (1958). *The Digital Terrain Model-Theory and applications.* MIT Photogrammetry Laboratory.
- Moore, I. – Lewis, A. – Gallant, J. (1993). Terrain properties: Estimation Methods and Scale Effects. In Young, P. *Modeling Change in Environmental Systems.* p. 769. New York: John Wiley and Sons.
- O'Callaghan, J. – Mark, D. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28., pp. 323-344.
- Pike, R. – Evans, I., – Hengl, T. (2009). Geomorphometry: A Brief Guide. *Developments in Soil Science*, 33. Forrás: <http://geomorphometry.org/>
- Pregun, C. – Juhász, C. (2011). Vízminőségvédelem.
- Reuter, H. – Nelson, A. – Jarvis, A. (2007). An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. *International Journal of Geographical Information Science*, 21.(9.).
- Riley, S. – De Gloria, S. – Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness that Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain Journal of Science*, 5.(1-4.), 23-27.
- Scharek, P. –Hermann, P. – Kaiser, M. – Pristaš, J. (2000). Map of genetic types and Thickness of Quaternary sediments. In: Császár, G.: *Dunube Region Enviromental Geology Program.*, 142.(4.), pp. 447-454.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), pp. 1117-1142.
- Tarboton, D. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water resources research*, 33(2), pp. 309-319.
- Telbisz, T. –Székely, B.– Timár, G. (2013). *Digitális terepmodellek.*

Ábrajegyzék

1. ÁBRA NEGYEDIDŐSZAKI FELSZÍNFORMÁLÁS A GERECSÉBEN. (ALBERT, 2013)	4
2. ÁBRA: A DIGITÁLIS FELSZÍNMODELL (DSM, PIROSSAL) ÉS DIGITÁLIS TEREPMODELL (DTM, FEKETÉVEL) KÜLÖNBSGÉNEK BEMUTATÁSA.	7
3. ÁBRA A GRID TÍPUSÚ ADATMODELL SZEMLÉLTETÉSE. A SZÁMOK A CELLÁKHOZ RENDELT MAGASSÁGI ÉRTÉKET JELÖLIK, Δx ÉS Δy AZ X ÉS Y IRÁNYÚ FELBONTÁST.	8
4. ÁBRA A LEJTŐK ALKOTÓELEMEI.	12
5. ÁBRA: A BETŰK AZ EGYES CELLÁKHOZ RENDELT MAGASSÁGI (z) ÉRTÉKET JELÖLIK. JOBB OLDALON A SURFER ÁLTAL HASZNÁLT JELÖLÉSEK VANNAK.	14
6. ÁBRA: A D-8 MÓDSZER MŰKÖDÉSÉNEK SZEMLÉLTETÉSE. A SZÁMOK MAGASSÁGI ÉRTÉKEKET JELÖLNEK.	18
7. ÁBRA VÍZFOLYÁSOK RENDISÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA STRAHLER SZABÁLYA SZERINT. A NYILAK A FOLYÁSIRÁNYT, A SZÁMOK A SZAKASZOK RENDISÉGÉT JELÖLIK.	20
8. ÁBRA. HALADÓ MÓDBA VÁLTÁS A PROCESSING TOOLBOX-BAN ÉS AZ R.SLOPE MODUL KIVÁLASZTÁSA	22
9. ÁBRA LEJTŐSZÖG-ÉRTÉKEKET TARTALMAZÓ RASZTERES ÁLLOMÁNY ELŐÁLLÍTÁSA AZ R.SLOPE MODULLAL.....	23
10. ÁBRA KITETTSÉG ÉS GÖRBÜLET SZÁMÍTÁSA A SURFER-BEN.....	24
11. ÁBRA VÍZGYŰJTŐ-MEDENCÉK ÉS VÍZHÁLÓZAT GENERÁLÁS A GLOBAL MAPPER PROGRAMBAN.	25
12. ÁBRA VEKTOROS ÁLLOMÁNY GRID TÍPUSÚVÁ ALAKÍTÁSA.....	27
13. ÁBRA A VÍZFOLYÁSOK A MAGASSÁGMODELLEBE ÉGETÉSE.	28
14. ÁBRA A QGIS ZONAL STATISTICS MODULJA.	29
15. ÁBRA . A QGIS ZONAL STATISTICS MODULJA ÁLTAL LÉTREHOZOTT MEZŐK A VIZSGÁLT TERÜLETEK POLIGONJAIT TARTALMAZÓ ADATBÁZISBAN.	30
16. ÁBRA A BIKOL-PATAK VÖLGYÉNEK KITETTSÉGTÉRKÉPEI.	31
17. ÁBRA A GERECE FŐ TÖMEGÉNEK LEJTŐMEREDKSÉGE. 1 : 75 000.....	33
18. ÁBRA GÖRBÜLETI TÉRKÉPEK.....	34
19. ÁBRA GÖRBÜLETI ÉRTÉKEK A NAGY-TEKE KÖRNYÉKÉN – 1 : 20 000	35
20. ÁBRA TRI ÉS LEJTŐMEREDKSÉG TÉRKÉPEK	36
21. ÁBRA AZ ELVÉGZETT KORREKCIÓK.....	37
22. ÁBRA LOKÁLIS VÍZGYŰJTŐ-TERÜLET ÉRTÉKEK A BIKOL-PATAK VÖLGYÉBEN	38
23. ÁBRA RELIEFENERGIA ÉS A VÍZFOLYÁSOK RENDISÉGE A BIKOL-PATAK VÖLGYÉBEN.	39

Az 1. ábrát a készítő, Albert Gáspár engedélyével használtam fel. Forrása: Albert, G. (2013). A kőpatak völgye. *Természet Világa*, 144(2), 85-86.

A további ábrák és mellékletek mind saját készítésűek. A 8-15. ábra képernyőfotó a munkamenetről.

Mellékletek

1. melléklet: A Gerecse északnyugati részének kitettségi térképe, 1 : 50 000

CD melléklet:

A Gerecse északnyugati részének kitettségi térképe – 1 : 50 000 (kitettség_50e.pdf)

A Bikol-patak völgyének kitettségtérképei – 1 : 75 000 (kitettsegek_75e.pdf)

A Gerecse fő tömegének lejtőmeredeksége – 1 : 75 000 (lejto_75e.pdf)

Görbületi térképek – 1 : 50 000 (gorbulet_50e.pdf)

Görbületi értékek a Nagy-Teke környékén – 1 : 20 000 (gorbulet_20e.pdf)

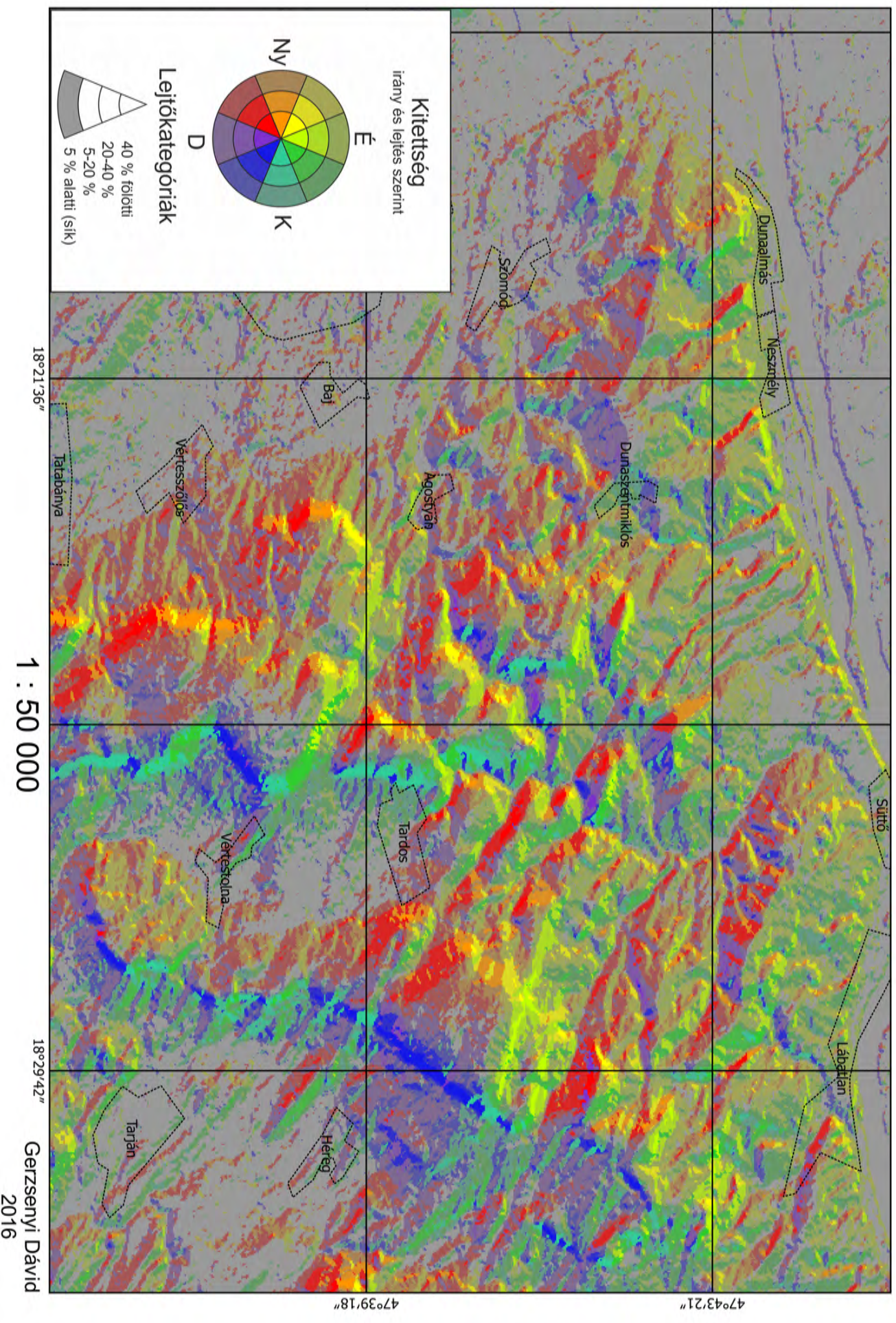
TRI és lejtőmeredekség térképek – 1 : 70 000 (tri_70e.pdf)

Az elvégzett korrekciók – 1 : 75 000 (korrekcio_75e.pdf)

Lokális vízgyűjtő-terület értékek a Bikol-patak völgyében – 1 : 50 000 (vizgy_50e.pdf)

Reliefenergia és a vízfolyások rendisége a Bikol-patak völgyében
– 1 : 50 000 (vrend_50e.pdf)

A Gerecse északnyugati részének kitettségi térképe



Köszönetnyilvánítás

Köszönöm dr. Albert Gáspárnak, hogy témavezetőmként nagyban segítette a munkámat!

Köszönet illet továbbá mindenki mást is, aki valamilyen módon – módszertani tanácsaival, véleményével, helyeslő bólogatásával, a munkavégzésre alkalmas környezet biztosításával vagy más egyébbel – segítette a munkámat.

Nyilatkozat

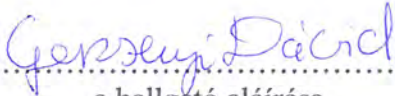
Alulírott, Gerzsényi Dávid nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2016. május 15.


.....
a hallgató aláírása