

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar
Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

Ungvári Zsuzsanna

**A térképi generalizálás vizsgálata különféle méretarány-
tartományokban domborzatmodelleken**

Doktori értekezés

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földtudományi Doktori Iskola

Iskolavezető:

Dr. Nemes-Nagy József, egyetemi tanár

Térképészet Doktori Program

Programvezető:

Dr. Zentai László, egyetemi tanár

Témavezető:

Dr. Márton Mátyás, professor emeritus



Budapest, 2017

Tartalomjegyzék

| | |
|---|----|
| 1. Bevezetés | 4 |
| 1.1 A domborzatábrázolás rövid történeti áttekintése..... | 4 |
| 1.2 A generalizálás | 6 |
| 1.3 A generalizálás automatizálása | 8 |
| 1.4 A munkám célja, a dolgozat felépítése | 9 |
| 2. Domborzatmodellek alkalmazása a térképkészítésben | 11 |
| 2.1 Példák az interneten elérhető digitális modellekre..... | 11 |
| 2.2 Hazánkban készült digitális domborzatmodellek | 13 |
| 2.3 A domborzatmodellek optimális méretarány-tartománya..... | 14 |
| 2.4 Domborzatmodellekből készíthető térképek..... | 21 |
| 3. A szintvonalrajz horizontális generalizálása | 34 |
| 3.1 Vonalegyszerűsítés és simítás | 35 |
| 3.2 Az egyszerűsítő algoritmusok áttekintése..... | 35 |
| 3.3 A vonalsimító eljárások áttekintése | 38 |
| 3.4 A szintvonalak horizontális generalizálása a gyakorlatban | 41 |
| 3.5 A generalizálás-vizsgálatok eredményeinek értékelése..... | 47 |
| 3.6 Domborzatmodellek egyszerűsítése..... | 52 |
| 3.7 Domborzatmodellek generalizálása módosított képszűréssel..... | 58 |
| 3.8 A célméretaránynál kisebb felbontású domborzatmodellek esztétikus képet adó felhasználása | 59 |
| 3.9 Az egyszerűsített domborzatmodellből nyert szintvonalak a gyakorlatban: összevetés a vonalgeneralizálással..... | 61 |
| 3.10 A domborzat morfológiai jellemzőinek megőrzése az automatizált generalizálás során | 64 |
| 3.11 A vízrajzi elemek bevonása a generalizálásba | 72 |
| 3.12 Kiegészítő domborzatrajz | 75 |

| | |
|--|------------|
| 3.13 A domborzatrajz készítése során elkövethető jellemző hibák | 77 |
| 4. A vertikális generalizálás..... | 79 |
| 4.1 A Föld magasság-, és mélységlépcsőinek méretei és a vertikális generalizálás összefüggése..... | 81 |
| 4.2 Magasságok és mélységek bemutatása kótákkal és ezek generalizálása | 85 |
| 5. Az automatizált generalizálás a szakmai, felsőfokú oktatásban | 87 |
| 5.1 A téma jelenléte a nemzetközi és a hazai szakirodalomban | 88 |
| 5.2 Az automatizált generalizálás gyakorlati megvalósítása szoftverekben | 91 |
| 5.3 Az automatizált generalizálás oktatása az ELTE-n: az eddigi eredmények | 94 |
| 6. Összefoglalás..... | 97 |
| Summary | 99 |
| Hivatkozások | 100 |
| Ábrajegyzék..... | 106 |
| Köszönetnyilvánítás | 111 |
| Melléklet..... | 113 |
| I. Az alkalmazott szoftverekről és fájlformátumokról röviden..... | 113 |
| II. Programkódok és részletes folyamatleírások | 119 |
| III. Szintvonalak horizontális generalizálásának alkalmazásai a gyakorlatban..... | 125 |
| IV. A vertikális generalizálásban vizsgált atlaszok jegyzéke..... | 144 |
| V. Térképmelléklet | |

1. Bevezetés

A térképészet történetének kutatásában mindig jelentős szerepet játszott a domborzatábrázolás változásának megismerése. Mivel a dolgozatomban nem célja ennek vizsgálata, ezért csak vázlatosan ismertetem a legfontosabb változásokat és fogalmakat, amelyeket a munkám megértése szempontjából fontosnak tartok. Az áttekintés alapjául Hunyadi László 1964-es kézírata, az Iskolai térképek domborzatábrázolása című doktori dolgozat szolgált.

1.1 A domborzatábrázolás rövid történeti áttekintése

Az ismeretlen vidékek megismerése mindig vonzotta a kalandvágyókat. A felfedezők már az ókorban is helyszínrajzokon, térképeken ábrázolták környezetüket. Ezekből sajnos csak nagyon kevés maradt fenn. A korabeli térképeken az úthálózatok, vizek és települések megjelenítése mellett a domborzat bemutatása is fontos szerepet játszott. Kezdetben – mivel még nem voltak megfelelő eszközök arra, hogy a magasságkülönbségeket megmérjék –, oldalnézetben, kisebb-nagyobb halmokkal, kupacokkal ábrázolták a domborzatot. Ekkor inkább közlekedést akadályozó tényezőként jelentek meg. Ezt az ábrázolási módot több száz éven át használták, mígnem a 15. században napvilágot látott az első térképek egyike, amely már felülnézetben mutatta be a domborzatot (lásd Francesco Berlinghieri Geographia c. művének térképei 1478). Ennek ellenére az ábrázolás nem terjedt el, a 16. század térképein a hegyeket továbbra is halmokkal ábrázolják, ezt Hunyadi „vakondtúrásos” ábrázolásnak nevezi. Azonban egyes térképeken ezek már hasonlítanak a hegyek valódi alakjára, árnyékolással plasztikusabbá tették őket. Megjegyzendő, mivel ezek a térképek általában csillagászati mérések segítségével készültek, a hegyek bár oldalnézetben jelennek meg, a készítőik igyekeztek a valós helyükön feltüntetni azokat. A hadászati igények változásának eredményeként, a felmérési eszközök is fejlődtek, ezért lehetővé vált a domborzat pontosabb, nagyobb méretarányú ábrázolása. A szemléltető nézőpontja emelkedett (kavallier perspektíva), mígnem teljesen felülnézetivé vált. Ezt kezdetben csíkozással fejezték ki, amelynek többféle változata is volt: páfránylevélszerű-, hernyószerű-, pillacsíkozás (pl. az I. katonai felmérés térképei), árnyékcíkozás, lejtőcsíkozás stb. Az utóbbi már mérhető, a lejtő meredekségéről ad információt, ezt használták már a II. katonai felmérés térképein, és még a 20. század elején is gyakran alkalmazták, mivel igen szemléletes képet nyújt.

A szintvonalas ábrázolás gondolata már a 16. században felvetődött, de ezzel az ábrázolással térképet csak 1584-ben, a holland Pieter Bruynsz készített először a kikötők mélységviszonyainak bemutatására. Bár az ábrázolással a felszín jól mérhetővé válik, ugyanakkor kevésbé szemléletes. Olvasásához gyakorlat kell. Elterjedését – a szárazföldi domborzat ábrázolása esetében –, akadályozta a megfelelő mérőeszközök hiánya is, mivel a szintvonalak szerkesztéséhez rengeteg magassági adatra van szükség. A III. katonai felmérés térképein például kombinálva jelenik meg a szintvonalas és lejtőcsíkozásos ábrázolás (HUNYADI 1964).

A szintvonalas ábrázolás során a terepet a helyi függőleges irányra merőleges felszínekkel metsszük el. Az így keletkező vonalak mindig önmagukba visszatérnek, nem keresztezik egymást, nem párhuzamosak, de helyenként mutathatnak párhuzamszerűséget. Minél nagyobb lejtőszögű a domborzati forma, annál sűrűbben helyezkednek el. A különböző méretarányú térképeknél más-más alapszintköz használandó. Az alapszintköz kiszámítására Rátóti Benő kétféle képletet is javasolt (RÁTÓTI 1979), ám ezek ellenőrzés után a gyakorlatban alkalmazott értékektől jócskán eltérnek. Általában a nagy- és közepes méretarányú térképeken főszintvonalakat és segédszintvonalakat is alkalmazunk. A terep lejtési viszonyait esztüskékkel, és a szintvonalak megírásával fejezzük ki. Előfordulhat, hogy a szintvonalak egy erős lejtésű terepen annyira összesűrűsödnek, hogy olvashatatlanná válnak; vagy függőleges irányban nagy magasságkülönbség lép fel a terepen, ekkor kiegészítő domborzatrajzot alkalmazunk, pl. sziklarajz, tereplépcső, horhos, lyuk stb. Szélsőséges esetben (áthajló sziklafelszínek), a szintvonalak kereszteznék is egymást, szerencsés tehát a sziklarajz alkalmazása. A szintvonalakat 0,1–0,3 mm-es vastagságú vonallal, többnyire barna, narancssárga, szürke vagy fekete, a magashegységi jégtakarónál kék, zöld vagy fehér színek egyik árnyalatával ábrázoljuk. A mélységvonalaknak általában kék, szürke vagy fekete színt választunk. Az izovonalas ábrázolás szemléletesebbé tételére például a szintvonalak árnyékolásával, vagy a döntött szintfelületek módszerével is próbálkoztak, de ezek nem terjedtek el a gyakorlatban (KLINGHAMMER–PAPP-VÁRY 1987, KÉSZ 1974).

A szintvonalas ábrázolás szemléletesebbé tételére találták ki a 19. század közepén a színfokozatos domborzatábrázolást is, amelyet más néven magassági- és mélységiréteg-színezésnek, vagy hipszometrikus és batimetrikus ábrázolásnak neveznek. A ma használatos színskála Hauslab és Sydow vitájának eredményeként alakult ki. Sydow szerint a „minél magasabb, annál világosabb” elvet kell követni, míg Hauslab szerint ennek ellentétjét. Bár

manapság Hauslab elvét alkalmazzuk, megjegyzendő, hogy Sydow zöld–barna színskáláját szokás használni, szemben a Hauslab által javasolttal. A tengerek (pontosabban a tengerfenék-domborzat ábrázolására) mindketten a kék szín árnyalatait képzelték el. A rétegszínezés ábrázolás során az egyes szintvonalközöket töltjük ki egy homogén színnel. A hipszografikus görbe kifejezi az egyes magasságok eloszlását.

A térkép témája nem mindig engedi a szintvonalrajz, vagy rétegszínezés létrehozását, ez sokszor grafikai túlterheltséghez vezet: ekkor általában az árnyékolós domborzatábrázolást használják. Ezt a módszert másképpen summerolásnak, ritkábban szintörlésnek vagy színárnyalásnak nevezik (az utóbbi nevek a summer készítésének technikájából adódnak: „a szín eldörzsölése átmenetes színárnyalatokká” (KÉSZ 1974)). Az ábrázolás során egy szín különböző erősségű tónusai fejezik ki a felszínformákat. Már a 18. században északnyugatról, 45°-os magasságból érkező ferde megvilágítást javasoltak (HUNYADI 1964). A ferde megvilágítású summer esetén a lejtők és a fénysugarak közötti szögek nagysága eltérő, így az árnyalatok között erőteljes kontraszt adódik. A függőleges megvilágításnál az árnyalatok közötti kontraszt kisebb, ezért csak korlátozott mértékben használható (pl. a gerincformák fehérek maradnak), a domborzatról hamis kép rajzolódhat ki a térképolvasó fejében. A kétféle megvilágítás kombinációja is lehetséges (RÁTÓTI 1979).

Ezek mellett megemlíteném még a kótált domborzatábrázolást, amelyet önmagában, vagy az előbbi módszerek kiegészítéseként használnak; illetve a Raisz Erwin-féle fiziografikus domborzatábrázolást, amely inkább szemléletes, oktató jellegű, mint mérhető (MÁRTON–REYES–HORVÁTH 2008).

1.2 A generalizálás

„Egy-egy térkép maximális információmennyiségét a térkép befogadóképességének nevezik. A befogadóképesség korlátozottsága miatt a térképen nem lehet a teljes valóságot bemutatni. A térképen megjelenő információk közül ki kell válogatni azokat, amelyek az adott térkép befogadóképessége mellett még ábrázolhatók, és ugyanakkor a legjellemzőbb, leglényegesebb ismereteket közvetítik a valóságról. A lényeges ismertetőjegyek kiemelése, a lényegtelenről való elkülönítése egy szűrőszorozat működéséhez hasonlítható. Ezt a kiválogatási/szűrési folyamatot nevezik generalizálásnak...” (KLINGHAMMER 2010).

„A generalizálás kifejezés a francia „généralisation” (általánosítás) szóból származik, amelyet a latin „generalis” (általános) szó jelentéséből vezetnek le” (AJTAY 1969). A szó

magyarosítására Klinghammer–Papp-Váry a Földünk tükre a térkép című művükben kísérletet tettek, általánosításként próbálták meghonosítani (KLINGHAMMER–PAPP-VÁRY 1983), annak ellenére, hogy korábban is többnyire a generalizálás kifejezést használták. Ez azonban nem sikerült, ezért későbbi írásaikban újra generalizálásnak nevezik. Az említett kötetben a generalizálást inkább gyakorlati oldalról közelítik, analóg készítésű térképekre vonatkoztatva. KLINGHAMMER 2010 és KLINGHAMMER 2015-ös cikkében viszont már az átalakult térképkészítés folyamatát is figyelembe veszi. A digitális térképkészítés a digitális objektum-modell kialakítása és a kartográfiai vizualizáció során is használjuk a generalizálást. *„Az objektumgeneralizálás által egy digitális objektummodell szemantikus és geometriai megoldása jön létre, amely egyrészt a modell céljának, másrészt az objektum érthetőségének, illetve felfoghatóságának felel meg. Ezzel szemben a kartográfiai generalizálás mint alakító folyamat a hatásos kommunikáció feltételeit teremti meg”* (KLINGHAMMER 2015). A cikkben elkülöníti egymástól a hagyományos és digitális térképezést, de a generalizálást továbbra is a térképszerkesztő agyában végbemenő folyamatnak tulajdonítja, vagyis a generalizálás maga továbbra is erősen szubjektív feladat. A generalizálást többféle részegységre bontja: szemantikai (szaktartalmi), geometriai (térvonatkozású) és temporális (idővonatkozású) részre (KLINGHAMMER 2010). Ezek alapján megállapíthatom, hogy a domborzat időben az egyik legállandóbb térképi elem, változása inkább a nagyobb méretarányú térképeken lehet jelentős, elsősorban az ember felszínalakító tevékenységének vagy katasztrófális természeti változások (vulkánkitörés, hegyomlás, iszapfolyás stb.) hatására. A domborzat generalizálása során a geometriai változásokat tekintem a legfontosabbnak. Szemantikai értelmezésben pedig pl. szintvonalas domborzatábrázolás esetén ki kell választani azokat a magasságokat, amelyeket a kisebb méretarányban is megtartunk. Márton Mátyás ezt nevezi vertikális generalizálásnak, míg a szintvonalak esetén a geometriait, vagyis a szintvonalak futásirányú egyszerűsítését horizontális generalizálásnak (MÁRTON 2012).

A kartográfiai generalizálás összetett folyamatát több szakember is elemezte már a 20. század elejétől kezdve. Ajtay diplomamunkájában összegyűjtötte a generalizálás eltérő meghatározásait a neves külföldi térképészek szerint (AJTAY 1969). Általánosságban megfigyelhető, hogy a generalizálás különböző részfolyamatait határozták meg, ezt az idő múltával egyre több részfolyamatra bontották. Például John K. Wright 1942-ben az egyszerűsítést és a hangsúlyozást azonosította, Raisz Erwin 1962-ben már három komponenst – az egyszerűsítést, elhagyást és kombinálást emelte ki. Arthur Robinson 1978-

ban négy részfolyamatra bontotta a generalizálást a kiválasztásra, egyszerűsítésre, osztályozásra és szimbolizációra (ábrázolásmód megváltozása) (SLOCUM 2005). A magyar szakirodalomban jelenleg a generalizálásnak hét típusát, szabályát különböztetjük meg, ezek az egyszerűsítés, nagyobbítás, eltolás (geometriai műveletek), összevonás, kiválasztás, klasszifikálás, értékelés/minősítés (szakmai, geometriai kihatású műveletek) (KLINGHAMMER 2010). A tematikus kartográfia és földrajzi vizualizáció című angol nyelvű térképészeti tankönyvben viszont tízféle elemi folyamatot különítenek el (SLOCUM 2005). Összevetve a két táblázatot, nem találtam lényeges eltérést az egyes műveletekben. Ami a különbséget okozza, az a generalizálás folyamatának értelmezése. A Slocum-féle könyvben a generalizálást matematikai műveletek sorozataként értelmezi, a generalizálás végrehajtásakor valamilyen program (algoritmus) működését is feltételezi, amely részben vagy egészben „gondolkozik” az ember helyett, ezzel növelve a folyamat objektivitását. Ezzel szemben a Klinghammer-féle megközelítésben a térképkészítés bár a számítógépen történik, a generalizálás automatizálásáról nem beszél.

Megemlíteném, hogy korábban néhány kartográfus erősen eltúlozta a folyamat szubjektív jellegét (pl. Lundquist, Knorr) (AJTAY 1969), manapság megállapítható, hogy a legtöbb részfolyamat objektivizálható: törvényszerűségek, matematikai szabályok állíthatók fel. Munkám során az objektivitás megőrzésére törekedtem.

1.3 A generalizálás automatizálása

Az emberiség az ipari forradalom óta mindig megpróbálta csökkenteni az egyes feladatok élőmunka-igényét. Ennek következményeként születtek meg a mechanikus gépek, az 1950-es években pedig az első számítógépek. Azóta a számítástechnika robbanásszerű fejlődésének lehetünk tanúi (ZENTAI 2000). A térképszerkesztési munka gyorsítására kezdetben mechanikus gépeket használtak, például automatikus komplex topokartográfiai berendezéseket (STEGENA–KLINGHAMMER–FÜSI 1977), ezeket a gépeket vagy folyamatokat nevezték automatizálásnak. Az 1960-as évektől kezdve dolgoztak ki olyan számítógépes eljárásokat, amelyekkel megpróbálták az emberi gondolkozást kiváltani, így megszülettek az első vonalgeneralizálási algoritmusok (RAMER 1972, DOUGLAS–PEUCKER 1973). Az algoritmus matematikai és logikai műveletek véges sorozata, amely egy folyamatot reprezentál (ROGERS 1987). A generalizálás automatizálása algoritmusok kidolgozásával lehetséges. Lévén a generalizálás szubjektív feladat, ezért nem egyszerű a matematikai alapokra helyezése, máig nagy kihívás elé állítja a kutatókat. A célom az volt, hogy olyan

eljárásokat alkossak, amelyekkel a generalizált térképi tartalom minőségében a legjobban hasonlít a hagyományos úton készült térképekhez.

Az automatizálás kifejezés használatát ma is időszerűnek tartom. Az emberi munka kiváltását fejezi ki, a számítógépek megjelenésével új tartalmat nyert. Célja, hogy meggyorsítsa a térképszerkesztés folyamatát, a hosszadalmas rajzi vagy számolási munkát igénylő feladatokat levegye a térképész válláról. Segítségével az egyes munkarészek szubjektivitása csökken, matematikai alapokra helyeződik (STEGENA–KLINGHAMMER–FÜSI 1977).

1.4 A munkám célja, a dolgozat felépítése

A témában elvégzett vizsgálódásom bemutatásakor először a térképi domborzatrajz elkészítéséhez felhasználható szabad elérésű, nemzetközi, majd a teljesség kedvéért a hazai készítésű, bár csak térítés ellenében szolgáltatott domborzatmodelleket ismertetem. Kidolgoztam egy módszert, amivel a felbontás ismeretében meghatározható bármely modell optimális méretarány-tartománya, amelyen belül a modelltől létrehozott térkép megfelelő minőségű. Ezen kívül olyan gyakorlati problémákra adok választ, mint az eltérő felbontású modellek kombinálásának módszere, vagy a mélyföldek és selfterületek elkülönítése egy modellben. Az általam vizsgált, ingyenes elérésű modellek nemcsak a szilárd földfelszín, hanem a rajta lévő objektumokat, pl. erdőket, vízrajzi elemeket is tartalmazzák, ezek magasságtorzító hatásait csökkenti az általam kidolgozott módszer. A következő fejezetben a domborzatmodellből nyert szint- és mélységvonalak futásirányú generalizálását vizsgálom. Bemutatom az automatizált generalizálás eredményét értékelő szempontrendszert, majd ezek alapján javaslatot teszek arra, hogy melyik algoritmusokat célszerű használni. Rendszerezem, és tételesen ismertetem a vonalegyszerűsítésre és simításra alkalmazható algoritmusokat. Megvizsgálom a domborzatmodellek egyszerűsítését képszűrési algoritmusokkal, valamint azt, hogy az új modellekből készített térképeken milyen minőségű a domborzatrajz jön létre a különféle domborzatábrázolási módszerekkel. Térképszerkesztési tapasztalatok alapján kidolgozok egy automatizált módszert, amely segíthet a megfelelő magasságok kiválasztásában vertikális generalizálás során. Megvizsgálom a kótvált pontok generalizálásának lehetőségeit is. Összefoglalom azokat a tanulmányokat, amelyekből az automatizált generalizálás témaköre oktatható. Sorra veszem a piacon elérhető szoftvereket, amelyekben valamely generalizálási algoritmus

megtalálható. Végül összeállítok egy vázlatot, amely alapján kivitelezhető az oktatás. A dolgozatomat összefoglalással zárom.

2. Domborzatmodellek alkalmazása a térképkészítésben

2.1 Példák az interneten elérhető digitális modellekre

A digitális magasság- és mélységmodelleket (Digital Elevation Model) két csoportra oszthatjuk. A digitális domborzatmodellek (Digital Terrain Model) a csupasz földfelszínét ábrázolják, míg a digitális felszínmodellek (Digital Surface Model) a föld felszínén lévő természetes és mesterséges objektumokat is tartalmazzák, pl. épületek, erdők, vízrajzi elemek. Az egyszerűség kedvéért a dolgozatban helyenként – ahol ez nem értelemezhető – a felszínmodelleket is domborzatmodelleknek nevezem. A digitális domborzatmodelleket az adatszerkezetük szempontjából két csoportba sorolhatjuk. A felszín vektoros domborzatleírása a TIN modell, amely a triangular irregular network kezdőbetűiből származik (szabálytalan háromszöghálózat). Ha egy területen elszórtan helyezkednek el a magassági vagy mélységi adatok, akkor ezek között a felszín háromszögekkel fedjük le (általában a Delaunay-háromszögelés módszerét alkalmazzuk). A raszteres domborzatleírás (grid típusú modellek) általában x és y irányban megegyező felbontással tartalmazzák magassági vagy mélységi adatokat. Ezek interpolációs módszerekkel TIN modellekből is képezhetők (ELEK 2006). A dolgozatban felhasznált modellek mind ebbe a kategóriába tartoznak.

Az elmúlt években, a szakirodalomban több, a modelleket részletesen leíró, és elemző cikk látott napvilágot, ezért a teljesség igénye nélkül, röviden ismertetek néhány adatsort, amelyeket térképkészítési célokra a legalkalmasabbnak ítélek. Először a legismertebb, és legtöbbet használt szemi globális felszínmodellel, az SRTM-mel (Shuttle Radar Topography Mission) kezdem. 2000 februárjában készült, az Endeavour űrsiklóra szerelt sztereo-radar kamerákkal. A szárazföldek több, mint 80%-áról tartalmaz magassági adatokat, az é. sz. 60° és a d. sz. 56° között elérhető háromféle felbontásban. A legnagyobb felbontású adatsor 1''-es (kb. 30 m), sokáig csak az Egyesült Államokra, 2014 szeptembere óta folyamatosan az egész világra elérhetővé vált. Ebből az adatsorból interpolációs eljárásokkal vezették le a kisebb felbontású változatokat: a 3'' (kb. 90 m) felbontású modell (SRTM 90) volt elérhető több mint tíz évig a Kárpát-medencére; az SRTM 30-nak nevezett modell pedig 30'' (kb. 1 km) cellamérettel tartalmaz magasságokat (JARVIS ET AL 2008).

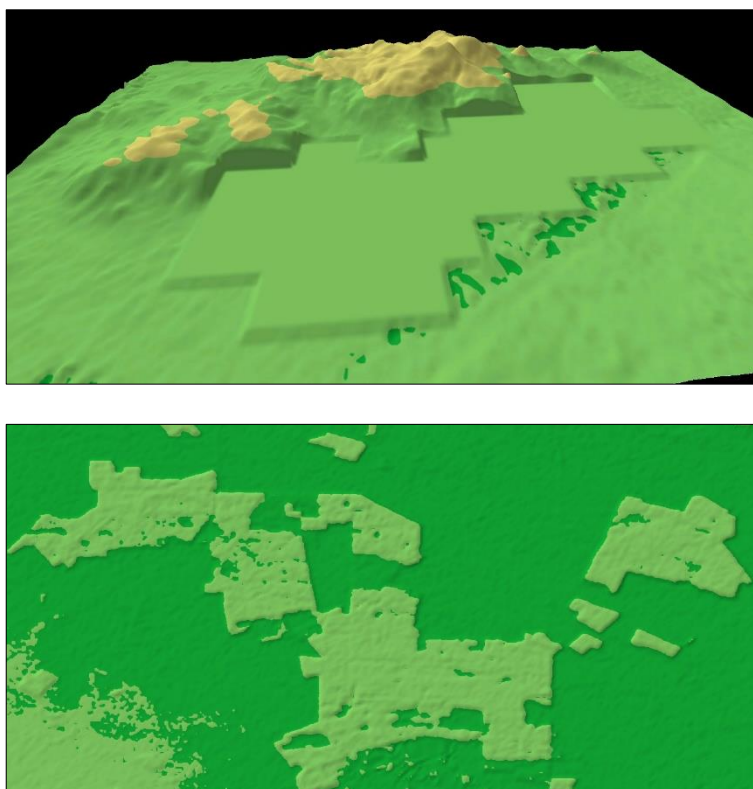
Az ETOPO1 már globális modell, azaz nemcsak a szárazföldekről, hanem az óceáni területekről is tartalmaz adatokat. Térbeli felbontása 1' (kb. 2 km), amelyet többféle magasságmodellből és mérési adatsorból állítottak össze. Bár még ma is elérhetők a 2' és 5'-es felbontású elődök, jelenleg az 1'-es modell letöltését javaslom, ebből ugyanis két változat áll rendelkezésünkre: az egyik (*Ice surface*) tartalmazza a belföldi jégtakarót is, míg a másik a jégtakaró alatti kőzetfelszín magasságait (*Bedrock*) adja meg (AMANTE–EAKINS 2009).

A harmadik, 1'' (30 m) felbontású felszínmodellben, az Aster GDEM-ben érvényesül leginkább a növényzet hatása, ennek használata domborzatábrázoláshoz – előfeldolgozás nélkül – kerülendő (ASTER GDEM 2011).

Az EU-DEM modell Európa területét fedi le, az SRTM és az Aster GDEM kombinálásával készült, felbontása (1'') kb. 25–30 m (EEA 2013).

Az egyéb, szabad elérésű globális modellek között említeném meg az GTOPO30-at, amely az első, digitális formában elérhető, 30''-es (kb. 1 km) globális magasságmodell volt. Az adatforrások sokszínűsége miatt a minősége nem homogén, csak a szárazföldekről tartalmaz adatokat (GTOPO30 1996).

Az ACE2 GDEM modellben az SRTM magassági pontosságát próbálták javítani, több-kevesebb sikerrel. A modellben főleg a tavaknál megfigyelhető, hogy a felhasznált maszkoló réteg felbontása jóval rosszabb volt. Az erdőfelületek magasságtorzító hatását sem sikerült teljesen kiszűrni pl. az Alföldön (2.1. ábra). Kiterjedése hasonló az SRTM-éhez ($\pm 60^\circ$), a magassági pontosság javításához műholdas magasságmérési adatokat használtak fel (ERS1 és ERS2 geodéziai missziók mérései). Elérhető a következő felbontásokban: 3'', 9'', 30'' és 5' (BERRY–SMITH–BENVENISTE 2007).



2.1. ábra: Az ACE2 GDEM (3'') jellegzetes hibái: a vízfelületek maszkoló rétegének felbontása nem megfelelő, lépcsős térfelszín jött létre a Velencei-tó vidékén (3D nézet). Megmaradt ártéri erdőfelületek

A dolgozat befejezésével egy időben jelent meg a végleges TanDEM-X egy méteres felbontású globális (csak szárazföldekre tartalmaz mérési adatokat) felszínmodell, ezért ezt részletesen nem vizsgáltam. Az adatok felhasználása kutatásra regisztrációhoz kötött, egyéb esetben térítés ellenében igényelhető (ZINK ET AL 2014).

A felsoroltakon kívül a világ számos országában készítettek már kisebb-nagyobb területekről nagy felbontású domborzat-, illetve felszínmodelleket (pl. LiDAR technológiával). Ezekkel a dolgozat keretében nem foglalkoztam.

2.2 Hazánkban készült digitális domborzatmodellek

Magyarországon a FÖMI térítés ellenében szolgáltat, ennél jóval részletesebb, az 1:10 000 EOTR térképek szelvényeiből készített domborzatmodellt is. Ennek legnagyobb felbontása 5×5 méteres, magassági megbízhatósága kb. ±0,7 méter. A térképek készítésének ideje, 1979 és 2000 közé tehető, a szintvonalakat sztereofotogrammetriai kiértékeléssel készítették. A 2000 óta bekövetkezett komolyabb változásokat légifelvételek alapján kiértékeltek, és bevezették a modellbe. Lehetőség van 10×10, 20×20, 50×50 és 100×100

méteres felbontású modellek (DDM) igénylésére is. Nemrégiben jelentek meg az nDFM (a digitális felszínmodell és a DDM különbsége, megadja a felszíni objektumok magasságát) és a cDFM (légifelvételek RGB színekészletével színezett pontfelhő) felszínmodellek, amelyek immáron az egész ország területét lefedik kb. 1 méteres felbontással. Ezen kívül a FÖMI szolgáltat szintvonalrajzot is, amelynek aktualitása megegyezik az adott 1:10 000 topográfiai térképszelvény készítésének idejével. A vektorizálást 2000–2005 között végezték. Sajnos, a szintvonalak nem folytonosak: megszakadnak a megírásoknál, és a kiegészítő domborzatrajznál (FÖMI 2016).

Az MN (később MH) Térképészeti Intézet hozta létre, és ma a jogutódja (jelenleg: HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Közhasznú Nonprofit Kft.) szolgáltatja 1: 50 000 méretarányú 1985 és 1992 között készített térképek szintvonalas eredeti munkarészek alapján levezetett 50×50 méteres felbontású DDM50-es domborzatmodellt. Ebből matematikai úton, interpolációval generálták a 10×10 méteres változatot. Az adatokat 1:100 000 méretarányú EOTR szelvényezési rendszer szerint lehet megrendelni, ezért a szelvényhatártól függően, országhatáron túli domborzati adatokat is tartalmaz. A DDM modell pontossága felszín típusonként eltérő, síkvidéken a középhiba ±0,8 m, dombvidéken ±2,5 m, a hegyvidéken pedig ±5 méter körüli. Megjegyzendő, hogy korábban készült az 1:200 000 térképekből a DDM200-as modell, amelyet jelenleg nem forgalmaz az intézet (ZRÍNYI NONPROFIT KFT 2015).

2.3 A domborzatmodellek optimális méretarány-tartománya

Térképek készítésekor a méretarány és a cél ismeretében választjuk ki a domborzati adatok forrását. Az elmúlt években többször találkoztam olyan kis- és közepes méretarányú térképekkel, amelyeken a domborzatábrázolás a méretarányhoz képest túl részletes: ez sokszor csak ront a térkép olvashatóságán, ezeken a térképeken generalizálás nélkül használták többnyire az SRTM 90-et (pl. FARKAS–KERESZTESI 2007, FARKAS–KERESZTESI 2008). A domborzatmodelleket csak bizonyos méretarány-tartományokban használhatjuk jól, vagyis az ábrázolás ne legyen túl részletes, vagy túl szórványos adatokra épülő, ezt nevezem *optimális méretarány-tartománynak*. Ezek meghatározásánál elméleti és gyakorlati módszerhez is folyamodtam, ebből vezettem le egy becslő formulát, amellyel megadható a felbontás ismeretében az optimális méretarány-tartomány.

Először a gyakorlati módszert mutatom be. Térinformatikai szoftverekben domborzatmodellekből automatikusan generálhatunk szintvonalakat. A Global Mapperben

és a QGIS-ben teszteltem ezeket a funkciókat, és azt tapasztaltam, hogy nincs jelentős eltérés a létrejövő szintvonalak részletességében, és minőségében (M: III./1.). (Itt és a továbbiakban ebben a formában utalok a mellékletekre). A szintvonalakat összehasonlítottam meglévő topográfiai vagy atlasztérképekkel. A topográfiai térképeken a szintvonalak generalizálása szabályokhoz kötött, jóval objektívabb, mint más térképtípusoknál, például 1:10 000 EOTR térképek esetén a szabályzatban a magassági pontosság (középhiba) alapszintközönként változó, erdős területeken a 2.1. táblázatban lévő értékek kétszerese lehet (T.1. 1976). A 1:25 000 és 1:100 000 méretarányú térképeknél nem született magassági hibahatárokat meghatározó szabályzat, ebben a domborzat általános generalizálási elveire hívják fel a figyelmet. „*A domborzat tervezését tájjellegenként célszerű végezni, mert csak így biztosítható az azonos jellegű területek összhangja*” (T.2. 1977, T.5. 1981). Előfordulhat az is, hogy ugyanaz a térkép a szárazföldi területeken megfelelő pontosságú, tengeri területeken ugyanakkor nem használható, mivel az adatsűrűség ott jóval ritkább. Erre ellenpélda a térkép megadott méretarányhoz képest nagyobb adatsűrűség, például a GEBCO esetében (M: II./4.).

| Alapszintköz | Magassági középhiba | Maximális magassági hiba |
|---------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1 m | ± 0,40 m | ± 0,80 m |
| 2 m | ± 0,80 m | ± 1,60 m |
| 2,5 m | ± 1,00 m | ± 2,00 m |
| 5 m | ± 2,00 m | ± 4,00 m |

2.1. táblázat: A szintvonalak közép- és maximális hibája 1:10 000 EOTR térképszelvények esetében

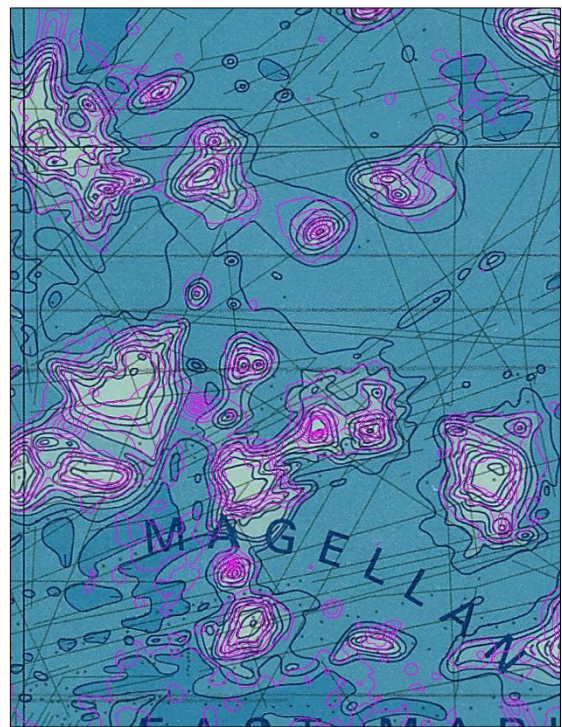
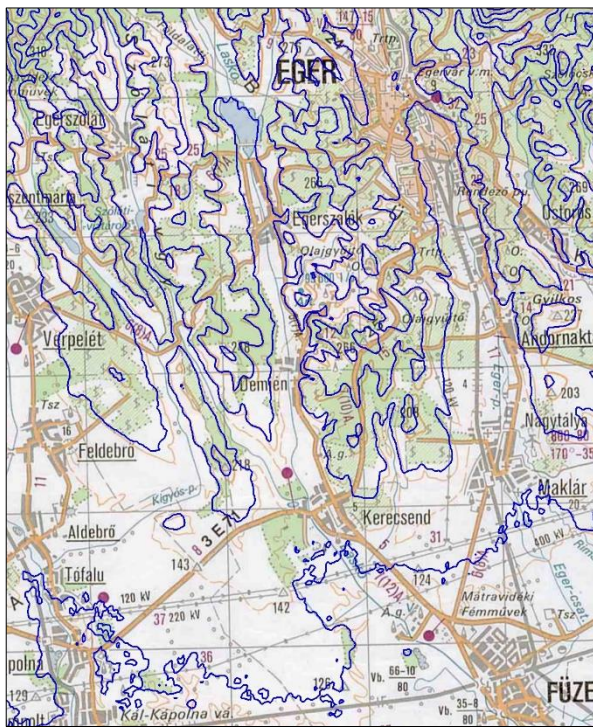
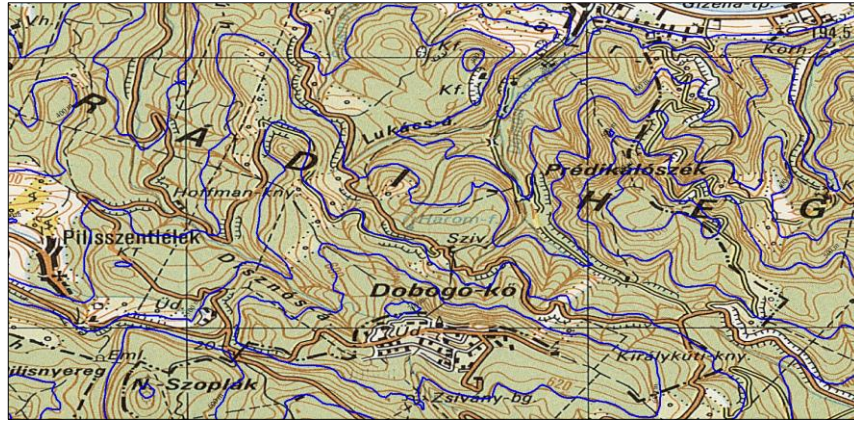
A domborzatmodellből generált szintvonalaknál megállapítható egy maximális méretarány, amelynél a szintvonalak pontossága már kielégítő. Ha ennél nagyobb méretarányban használjuk, a generált szintvonalak egyre szögletesebbek lesznek, és magassági pontosságuk is romlik. Mivel a hipszometrikus és batimetrikus ábrázolás is a szintvonalakon alapul, ezért a meghatározott méretarány-tartomány ott is hasonló. A 2.2. táblázatban, a 2.2. és az M: II./3. ábrarozaton bizonyítom előbbi állításomat az ETOPO1 és a háromféle SRTM modellre alkalmazva. Az összehasonlítást eltérő jellegű területeken végeztem: az SRTM esetén alföldi, dombsági és hegységi, míg az ETOPO1 esetén főleg tengeri területeket vizsgáltam. Az alföldi területeken az SRTM-ből generált szintvonalak és az 1:100 000 EOTR szelvény szintvonalai között akár több száz métereseek (ennek térképi hossza max. 0,5–0,7 mm) is lehetnek a vízszintes eltérések, de a magasságkülönbségek ennél jóval kisebbek (a terep kis lejtéséből adódik), általában 2–4 méter körüliek. Dombsági területeken a vízszintes eltérés átlagosan 100–300 méter (ennek térképi hossza 0,1–0,3 mm),

hegységi területeken kb. 100 m (ennek térképi hossza 0,1 mm), a magasságkülönbség átlagosan 6–8 méteres. A különbségek okait a 2.4.4 fejezetben részletesen kifejtem (a 2.1.-es táblázatban vázolt értékek is hozzájárulnak a különbségekhez). Az SRTM 90-ből generált szintvonalakat összevettem 1:200 000-es Gauss–Krüger-szelvényekkel is: az eredmény hasonló. A szintvonalak részletességükben, illetve pontosságukban jobban illeszkednek a kisebb méretarányú térképhez. Ezáltal megállapítható egy maximális méretarány, amelyben a domborzatmodell, és a belőle nyert szintvonalak pontosságban és részletességben kielégítik egy általános földrajzi vagy tematikus célú térkép követelményeit (de semmiképpen sem használhatók topográfiai térképek domborzatrajzának alapanyagaként!).

A domborzatmodell vagy a szint- és mélységvonalak kisebb méretarányokban való felhasználásához a domborzatmodell generalizálása szükséges (UNGVÁRI–SZABÓ 2013), vagy a szintvonalakat kell vonalegyszerűsítési algoritmusokkal egyszerűsíteni, majd görbékkel helyettesíteni, melynek részleteit a következő fejezetben fejtem ki (AGÁRDI–UNGVÁRI–ZENTAI 2013). Minimális méretaránynak nevezem, ahol a domborzatmodell még generalizálás nélkül felhasználható és nem túl részletes. Az optimális méretarány-tartományt hozzávetőlegesen a maximális és minimális méretarányok határolják.

| Domborzatmodell neve | Felbontás | Felbontás metrikus rendszerben | Maximális méretarány | Minimális méretarány eredeti felbontásban | Optimális méretarány-tartomány |
|-----------------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| SRTM | 0° 0' 1" | kb. 30 m | ~1:100 000 | ~1:300 000 | 1:150 000– 1:300 000 |
| SRTM 90 | 0° 0' 3" | kb. 90 m | ~1:150 000 | ~1:400 000 | 1:200 000– 1:400 000 |
| SRTM 30 | 0° 0' 30" | kb. 1 km | ~1:1 000 000 | ~1:2 000 000 | 1:1 200 000– 1:2 000 000 |
| ETOPO1 | 0° 1' | kb. 2 km | ~1:2 500 000 | ~1:5 000 000 | 1:3 000 000– 1:5 000 000 |

2.2. táblázat: A vizsgált domborzatmodellek felbontása, és a térképen való használhatóságuk ajánlott maximális és generalizálás nélküli, minimális méretaránya. Az optimális méretarány-tartomány a javasolt minimális és maximális méretarányok között helyezkedik el



2.2. ábra: SRTM-ből térinformatikai szoftverben generált szintvonalak (kék) összehasonlítása 1:100 000 EOTR szelvény szintvonalával, majd a 1:200 000 Gauss–Krüger térképszelvényvel. A utolsó képen az ETOPO1-ből generált izobátok (rózsaszín) összevetése látszik a GEBCO térképpel

Az elméleti módszer esetében a minimális térképi méreteket vettem figyelembe. Klinghammer szerint (KLINGHAMMER–PAPP-VÁRY 1983), valamint gyakorlati térképszervezési tapasztalatok alapján, kitöltött felületek esetén a minimális méret 1 mm^2 , ennél kisebb területet nem lehet felismerni a térképen, továbbá a technikai feltételeink is korlátozottak. Előfordulhat nagy objektumsűrűség, vagy változatos színhasználat esetén, hogy ennél nagyobb a minimális méret az adott térképen. Tegyük fel, hogy egy hegycsúcsot ábrázolunk szintvonallal (és/vagy hipszometrikus ábrázolással), amelynek területe 1 mm^2 . A szintvonal vastagsága $0,1 \text{ mm}$.

Tegyük fel, hogy a gömb alakú közelített Föld kerülete az Egyenlítő mentén $40\,000 \text{ km}$, tehát 1° kb. $111,111 \text{ km}$, így $1'$ az kb. $1,852 \text{ km}$. Kiszámítottam, hogy a szélességek

irányában, hogyan változik a paralelkörök hossza ($111,111 \cdot \cos(\varphi)$). Ebből megadható, hogy $1' \times 1'$ foktrapéz területe hogyan csökken a földrajzi szélesség növekedésével. Az Egyenlítőnél a területe 3.442 km^2 , 30° -nál 2.996 km^2 , 45° -nál 2.412 km^2 és 60° -nál már csak 1.695 km^2 .

Márton Mátyáshoz hasonlóan kisméretarányú térképek esetén méretarány-tartományokban gondolkoztam (MÁRTON 2012). Megnéztem, hogy az egyes méretarány-tartományok alsó és felső határán mekkora területnek felel meg a minimális méret (1 mm^2) a valóságban. Az alsó határokat a 2.3. táblázat mutatja. Ha ezt a területet egy egyenlő oldalú foktrapéz területének vesszük, és elosztjuk az egységnyi ($1' \times 1'$) foktrapéz területével, megkapjuk, hogy körülbelül hányszorosa az egységnyi elemnek Föld különböző részein. A kiszámolt érték lesz a domborzatmodell felbontása. *A táblázat alapján megállapítható, hogy körülbelül milyen felbontású domborzatmodelleket lehet használni a választott méretarányban akár domborzatárnyékolás, akár rétegszínezéses vagy szintvonalas ábrázolás esetén.* Összevetve az elméletet a gyakorlattal, a két eltérő módszerrel meghatározott értékek igen hasonlóak, csupán minimális eltérések tapasztalhatók. A táblázatokban megadott felbontások a maximális felbontást jelzik, ettől kis mértékben ugyan, de el lehet térni, ekkor javasolt figyelembe venni a térkép célját, az ábrázolási módszert és a térképen ábrázolt domborzatrajzzal szemben támasztott pontossági követelményeket. A 2.3. ábrán a domborzatmodellekből készített térképeket mutatom be. Nyomtatásban is látszik, hogy ezeken a domborzat egyenletes, folytonos megjelenésű, vagyis a kiszámított értékek helytállóak.

A számításokhoz kétféle programot is készítettem: az egyik kiszámolja a táblázatban is látható méretarány-tartományokban a domborzatmodell optimális felbontását; a másikban megadható a domborzatmodell felbontása, ehhez ajánl egy optimális méretarányt (a maximális méretarányt adja meg). A programkódot az M: II./1–2. melléklet tartalmazza.

| | 100 mill. | 50 mill. | 25 mill. | 10 mill. | 7,5 mill. | 5 mill. | 2,5 mill. |
|---------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|---------|-----------|
| 0° | 54' | 27' | 13,5' | 5,5' | 4' | 3' | 1,5' |
| 30° | 58' | 29' | 15' | 6' | 4,5' | 3' | 1,5' |
| 45° | 1° 6' | 32' | 16' | 6,5' | 5' | 3' | 1,5' |
| 60° | 1° 17' | 38' | 19' | 7,5' | 5,5' | 4' | 2' |
| teljes | ~1° | ~30' | ~15' | ~6' | ~5' | ~3' | ~1-2' |

| | 1 mill. | 750 e. | 500 e. | 250 e. | 100 e. |
|---------------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 0° | 30'' | 24'' | 18'' | 8'' | 3'' |
| 30° | 36'' | 30'' | 18'' | 9'' | 3,5'' |
| 45° | 42'' | 30'' | 18'' | 10'' | 3,5'' |
| 60° | 48'' | 36'' | 24'' | 12'' | 5'' |
| teljes | ~30-50'' | ~30'' | ~20'' | ~10'' | ~3'' |

2.3. táblázat: A táblázatban a domborzatmodellek optimális felbontása látható (kerekítve), a Föld különböző szélességein különféle méretarányokban. Az utolsó sorban a teljes Földet ábrázoló térképeken javasolt felbontások (Rövidítések: mill=millió, e=ezer, értsd: 1 mill.= 1:1 000 000)



2.3. ábra: A Nyugati-Mátta és környezete 1:200 000, 1:1 000 000 és 1:2 000 000 méretarányokban

2.4 Domborzatmodellekből készíthető térképek

2.4.1 Magassági- és mélységiréteg-színezéses térképek

Az internetről letöltött modellek megjelenítéséhez térinformatikai szoftverek szükségesek. A fizetős megoldások mellett (pl. Global Mapper, ArcGIS) egyre népszerűbbek az ingyenes szoftverek (pl. QGIS, GrassGIS). Népszerű tárolási formátummá vált a GeoTIFF (32 bites lebegőpontos számábrázolást használó TIFF fájlok), a felsorolt modellek mindegyike letölthető és megnyitható az említett szoftverekben. A képhez rendelhető magasságiréteg-színezés, azaz hipszometrikus, vagy mélységiréteg-színezés, azaz batimetrikus ábrázolás. A rétegszínezés kétféle lehet: a hagyományos módszer szerint az egyes magassági tartományokban a színfelület homogén (diszkrét), míg a másik esetben a két szomszédos szín között átmenet van (lineáris). Az utóbbit főleg olyan térképeknél használják, amelynél a kurzor mozgásra vagy kattintásra kiolvasható a magasság. Előnyük lehet még, hogy „summerszerű” hatást keltenek az olvasóban, ezáltal segítve a formák felismerését. A homogén színfelületek esetében is egy jól megválasztott színskála ugyanezt a hatást kelti az olvasóban. Ezekkel a kérdésekkel is a foglalkozik Márton Mátyás vertikális generalizálásról megjelent cikke (MÁRTON 2008).

Azoknál a modelleknél, amelyek egyaránt tartalmazzák a tengeri és szárazföldi domborzatot, a mélyföldeket és selfeket nem lehet elkülöníteni egymástól. Továbbá a felszínmodellek esetén az adatok előfeldolgozására lehet szükség, hogy például kiszűrjük az erdőfelületek magasságtorzító hatását. A következő fejezetekben ezen problémák lehetséges megoldásait vázoló fel.

2.4.2 A mélyföldek ábrázolási nehézségei

A tengerfenék-domborzat ábrázolásához az ETOPO1 modell használható. A rétegszínezéses térkép készítése mindaddig nem okoz nehézséget, amíg a tenger és a szárazföldi területek határa 0 méternél van. Ekkor egy domborzatmodellen kell megkülönböztetni egymástól a szárazföldhöz tartozó mélyföldi, és tengeri selfterületeket, gondoljunk csak Hollandiára. A domborzatmodell megfelelő pixelei csak a magasságokat tartalmazzák, és nincs semmilyen információ arról, hogy selfterületek vagy mélyföldek. Ahhoz, hogy külön állíthassak be egy szárazföldi és egy tengeri színskálát, a legegyszerűbb szétválasztani az eredeti raszteres képet két rétegre: óceáni, és szárazföldi részre; ehhez viszont szükség van egy ország, vagy kontinenshatárokat tartalmazó adatbázisra. Méretarányban, részletességében is megfelelő erre a célra a Global Administrative

Boundaries szabad hozzáférésű adatbázisa, amelyből kinyerhetők az országhatárok (GADM v.2.0, 2012).

Először az országhatárokat egyesítettem, így kaptam a kontinenshatárokat poligonként ábrázoló vektoros állományt. Ezekből a poligonokból, ha az ingyenes megoldásoknál maradunk, pl. QGIS-ben vektor-raszter konverzióval raszteres kép készíthető. A kontinenseket ábrázoló raszteres térkép pixelértékei a szárazföldeknél 1-nél nagyobb számot tartalmaznak, az óceánok területén nincs bennük adat. A QGIS raszter kalkulátorában lehetőség van arra, hogy különféle műveleteket végezzünk el raszteres állományokon. Először az újonnan létrehozott raszteres kontinenshatár-térkép egyetlen képcsatornáját önmagával kell elosztanunk, mindezt azért, hogy a szárazföldeken 1; a vízfelületeknél pedig továbbra is „no data” (nincs adat) érték szerepeljen. Ezután, ha ennek a képnek az összes pixelét összeszorozzuk a hasonló méretű ETOPO1 kivágat megfelelő pixelével, az eredmény csak a szárazföldi területeket ábrázoló térkép lesz. Ezen a raszteres rétegen már külön beállíthatjuk a mélyföldek rétegszínezését, az eredeti ETOPO1 állományt pedig az új alatt elhelyezve, a mélységiréteg-színezés külön definiálható. Az így a keletkező két rétegből georeferált, RGB színeket tartalmazó, raszteres kép exportálható (2.4. ábra). A művelet egyszerűbben is elvégezhető, ha van olyan eszköz a szoftverben, amellyel szabálytalan alakú felületet tudunk kivágni egy raszteres képből egy poligon – ebben az esetben a kontinensek – alapján. A QGIS-ben ezt a Clipper menüben hajthatjuk végre.

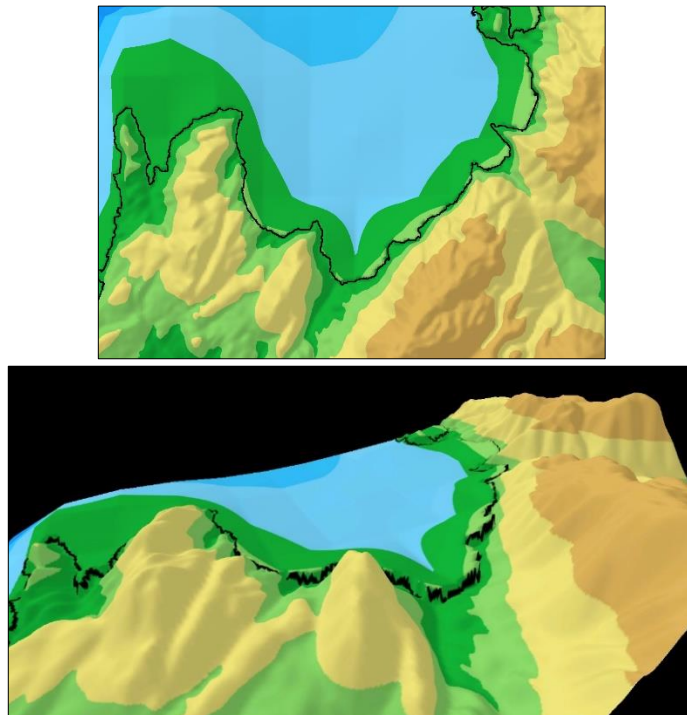


2.4. ábra: Mélyföldábrázolás létrehozása domborzatmodellből

2.4.3 Eltérő felbontású modellek kombinálása

Egy diplomamunka kapcsán merült fel a kérdés, hogyan lehetne megjeleníteni a Jón-szigetekhez tartozó Kefalóniát 1:200 000 méretarányban úgy, hogy a szárazföldi domborzatábrázoláshoz az elérhető legrészletesebb modellt használjuk (SRTM 90 m), míg

a tengeri területeken megelégszünk a két kilométeres felbontással (ETOPO1). Sajnos, ha egymásra két külön réteggként megnyitjuk a két modellt, az eltérő részletesség miatt, a szárazföld és tenger határa nem esik egybe; ezt a 2.5. ábra háromdimenzióban is jól illusztrálja. A probléma megoldása teljességgel elvégezhető a QGIS-ben, vagy bármely más szoftverben, amely tartalmaz olyan eszközt, amellyel számításokat lehet végezni domborzatmodellek pixelein.

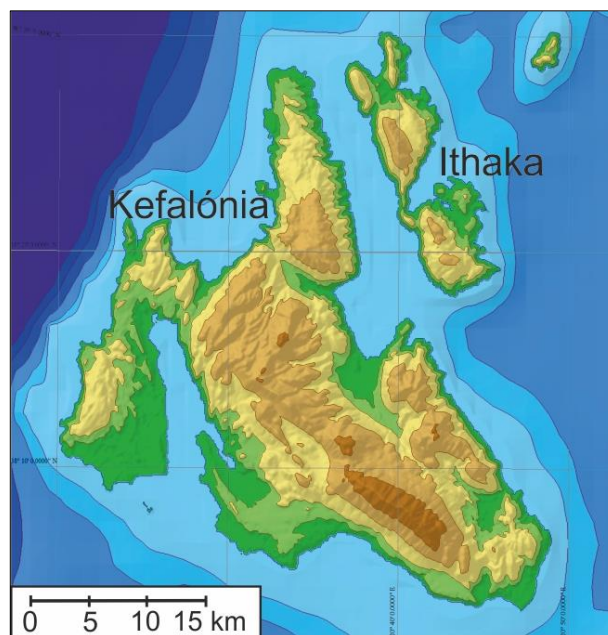


2.5. ábra: A különböző felbontású modellek érintkezése a partvonalak (fekete) mentén „tűzfalszerű” képződményeket eredményezhet, amelyek a valóságban nincsenek jelen

Kefalónia szigete esetén nem volt szükség vektoros határadatbázisra, mivel az előbb említett GADM és az SRTM 90 szinte tökéletesen egybeesett, így a feladat is egyszerűsödött. Bármely más esetben az előbb bemutatott módszerrel a szárazföldi területek kinyerhetők egy vektoros határadatbázis alapján. A QGIS raszter kalkulátorában először az SRTM-ből egy olyan képre lesz szükség, ahol a szárazföldi területek pixelértéke 0, a tengerieké 1. Ha ezt összeszorozzuk az ETOPO1 magassági és mélységi adataival, ahol a kép átfedett az SRTM-mel egy sík, platószerű, 0 m magasságú területet kapunk; ahol nem, ott az eredeti magasságok és mélységek őrződnek meg. Mivel a felbontás-különbségből adódóan lesznek 0 m feletti területek is – ezek lesznek azok a bizonyos tűzfalszerű képződmények (2.5. ábra), ezeket is el kell távolítani. Ezért – ebből a köztes képből – újra kinyertem a 0 méter és az a feletti területeket az első lépéshez hasonlóan úgy, hogy a tengerszint feletti területek pixelértéke 0, az az alattiaké 1 legyen. Végül ezt a képet

összeszoroztam az eredeti ETOPO1-gyel, így megkaptam a tengeri területek domborzatmodelljét. Végül megnyitottam a részletesebb SRTM térképi réteget a már meglévő ETOPO1 fölé. A két állomány akár egy új fájlba is menthető a szárazföldi területek felbontásával (2.6. ábra). A műveleteket a mellékletben részletezem (M: II./4.).

Az eredmény szemlélésekor tudatában kell lennünk annak, hogy az alkalmazott két modell között igen nagy a felbontásbeli különbség, ezért tökéletes eredmény nem várható. Gyakorlatilag a tengeri és szárazföldi területek domborzatábrázolásakor kétféle méretarányról beszélhetünk. Ennek hatásaként a part közeli, illetve selfterületek kissé platószerűen jelennek meg a térképen. A módszer végrehajtásakor törekedtem arra, hogy minél egyszerűbb, térinformatikai szoftverekben végrehajtható műveletekkel, programozás nélkül oldhassunk meg a feladatot úgy, hogy nem használunk közben más forrásanyagot. Ezek beszerzése sokszor nehézkes, vagy szerzői jogdíj megfizetését vonja maga után. A leírt alkalmazás viszont arra jó, hogy a tengeri mélységviszonyokról nagyvonalúan áttekintést adjon egy homogén színfelülettel szemben.



2.6. ábra: Különböző felbontású domborzatmodellek kombinálása (a rétegszínezés megegyezik az 2.4. ábrán alkalmazottal)

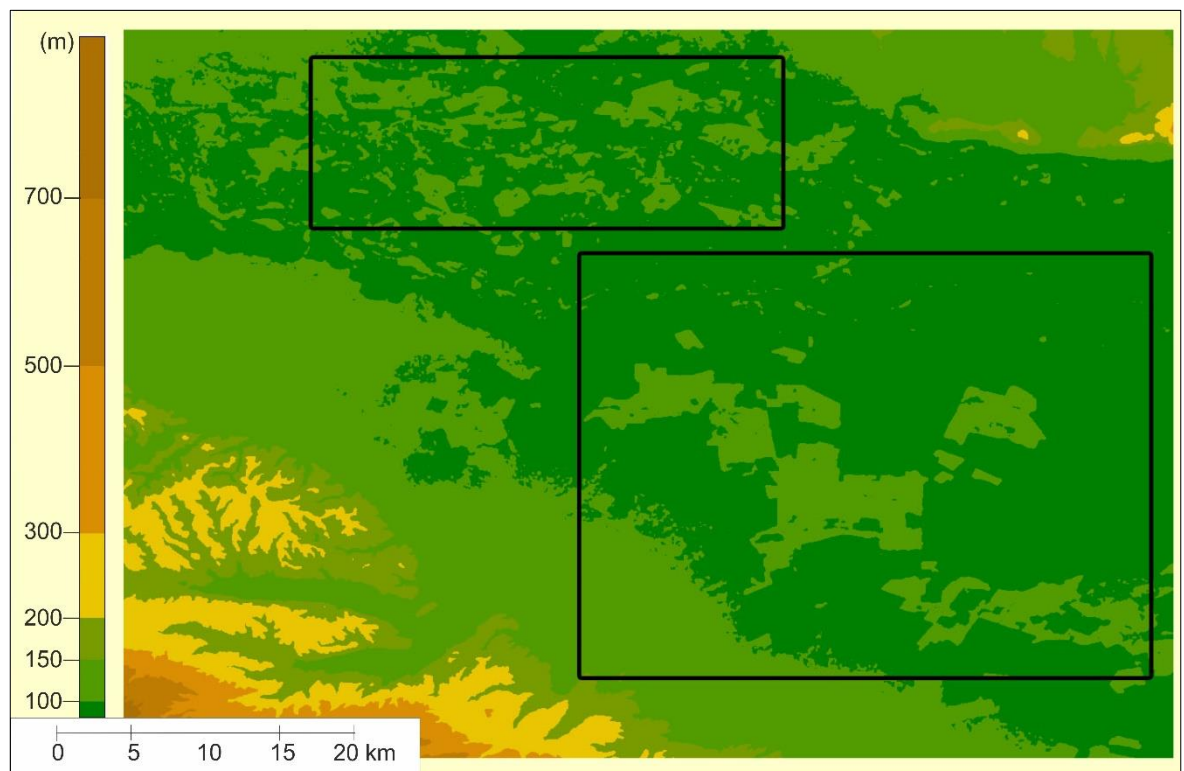
2.4.4 Felszínmodellek magassági pontosságának javítása

Az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) modellt 2000 februárjában készítette a NASA, az Endeavour űrsikló fedélzetéről (FARR ET AL 2007). Bár a küldetést úgy időzítették, hogy az északi félgömbön, ahol a szárazföldek túlnyomó része található, a növényzet hatása minimális legyen (a mérsékelt övi lombkoronabontás előtt), mégis az erdők kisebb

halmokként emelkednek ki például az alföldi területeken (2.7. ábra). A fejezetben bemutatok egy olyan módszert, amellyel ezeken a területeken a növényzet alatti valós tengerszint feletti magasságok jó közelítéssel megbecsülhetők.

A felhasznált adatok és szoftverek ismertetése

A módszer kidolgozására és tesztelésére az SRTM 90 digitális domborzatmodellt választottam. Az SRTM a szárazföldre 80%-áról tartalmaz magassági adatokat az é. sz. 60° és a d. sz. 56° között 3'' (kb. 90 m) rácssűrűséggel.



2.7. ábra: A keretekben az SRTM modellben feltűnő „dombszerű” területeket láthatjuk. Ezek valójában erdőfoltok a Dráva mentén

Az előző részben megállapítottam, hogy minden digitális domborzatmodellhez rendelhető olyan optimális méretarány-tartomány, amelyben nem lesz sem túl részletes, sem túl ritka az adatok sűrűsége. Az SRTM 90 esetén a legnagyobb, használható méretarány 1:150 000 (UNGVÁRI–SZABÓ 2013).

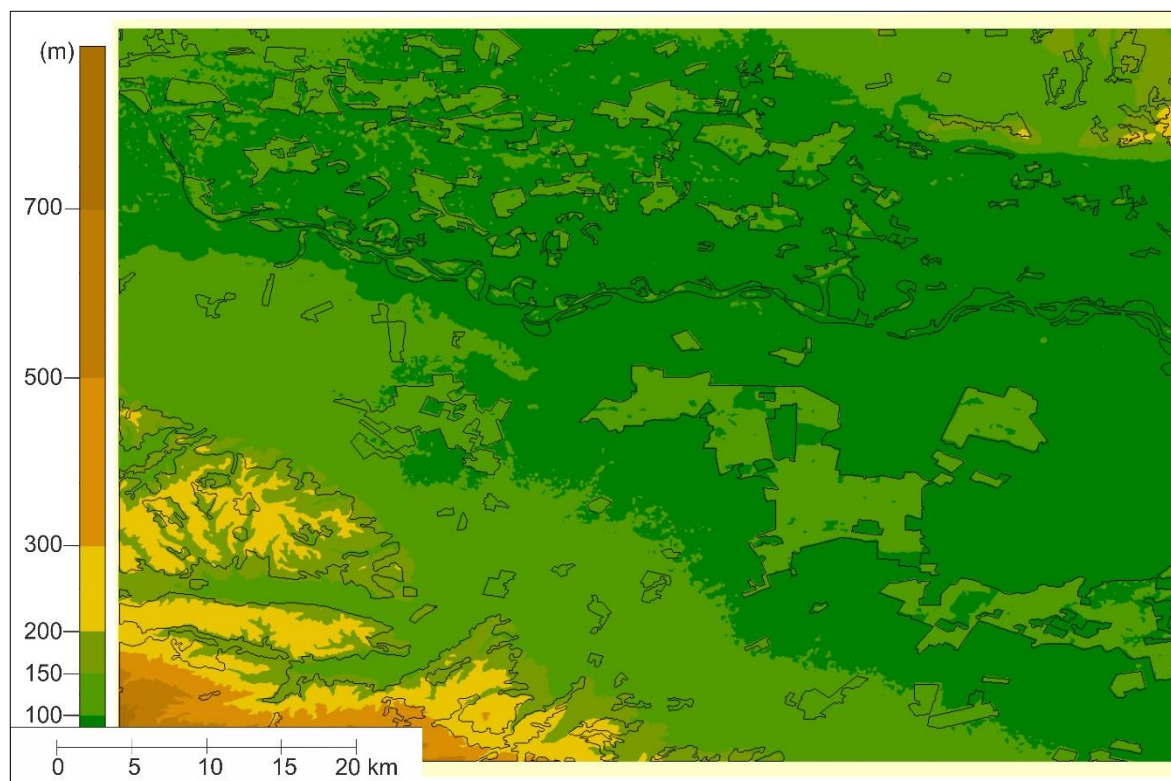
Ehhez kellett olyan vektoros adatbázist találni, amely tartalmazza az erdőfelületeket. A CORINE 2000 felszínborítottság-adatai több szempontból is alkalmasak:

- A lombhullató erdő külön kategóriaként jelenik meg a vektoros állományban.

– A két adatsor méretaránya nagyjából megegyezik. A CORINE 2000 méretaránya 1:100 000; az SRTM kb. 1:150 000 méretarányú térképhez már jól alkalmazható domborzati alapanyagként.

– Mindkét adatbázis szabad hozzáférésű az interneten.

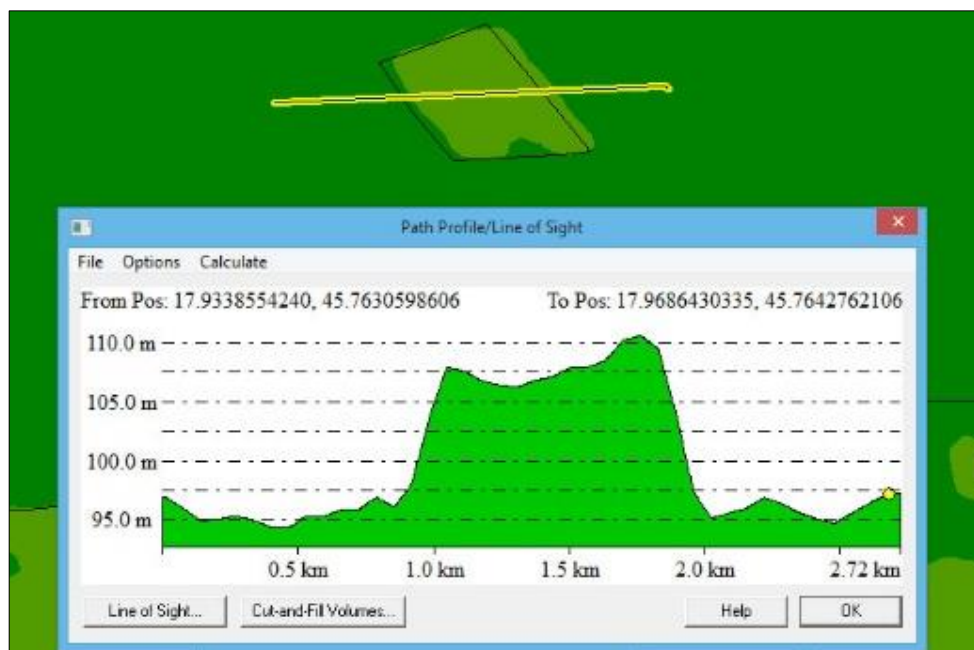
– A két adatsor készítési ideje szinte megegyezik. Az első európai CORINE-projekt az 1980-as években indult el; az első magyar adatsor az 1990-es évek közepére született meg 1:100 000 méretarányban. A térkép a Landsat Thematic Mapper (Landsat TM) 1990 és 1992 között készült műholdképeivel, majd az azt követő kézi feldolgozással, fóliákra jött létre. A következő lépés a CLC50-es adatbázis kialakítása volt 1997 és 1998 között (Corine Land Cover = Corine felszínborítottsági térkép 1:50 000 méretarányban). Ennek során javították a CLC1990-et immáron digitális formában. 1998 és 2000 között a SPOT-4 műholdfelvételek alapján hozták létre el a CORINE 2000-es adatbázist, amely öt nagy csoportra bontható: mesterséges felszínek (1.), mezőgazdasági területek (2.), erdő- és félig természetes növényzettel borított felszínek (3.), vizenyős területek (4.) és vízfelületek (5.). Ebből a 3.11 kategóriát, a lombhullató erdők shapefile-t használtam fel egy kiválasztott mintaterületen (2.8. ábra).



2.8. ábra: A CORINE erdőfelületei szinte teljesen megegyeznek az SRTM-mel

A választott mintaterület pedig egy alföldi, ártéri jellegű sík terület a Dráva mentén. A tengerszint feletti magasságok a folyó mentén 100 méter körüliek. A térképeken szinte minden esetben megjelenik a 100 méteres szintvonal. Ha megfigyeljük a térképet, a 100 méternél magasabb területek, jól egybevágóan a CORINE adatbázisban meghatározott poligonokkal. Ezek, ha magassági metszetet készítünk, kis dombokként jelennek meg a modellben. A CORINE adatbázisokban a definíció szerint azokat a területeket nevezzük erdőnek, ahol a fák magassága nagyobb, mint 5 méter. A 2.9. ábrán látszik, hogy az erdőmagasság általában itt ennél is nagyobb, akár 10–15 méteres.

Az algoritmus megírásánál is törekedtem nyílt forráskódú eszközök használatára. Ahhoz, hogy ezek a kis dombok eltűnjenek a térképről a QGIS-t és a Python programozási nyelv alatt is használható, GDAL/OGR modult alkalmaztam. A GDAL segítségével raszteres adatokat, így például GeoTIFF formátumú fájlokat olvashatunk és írhatunk. A modul OGR-nek nevezett része pedig vektoros adatok kezelésére alkalmas, többek között shapefile-okkal képes térbeli elemzéseket végrehajtani.



2.9. ábra: Erdőfelületek hosszmeteszete. A magasságkülönbség akár 10–15 méteres is lehet

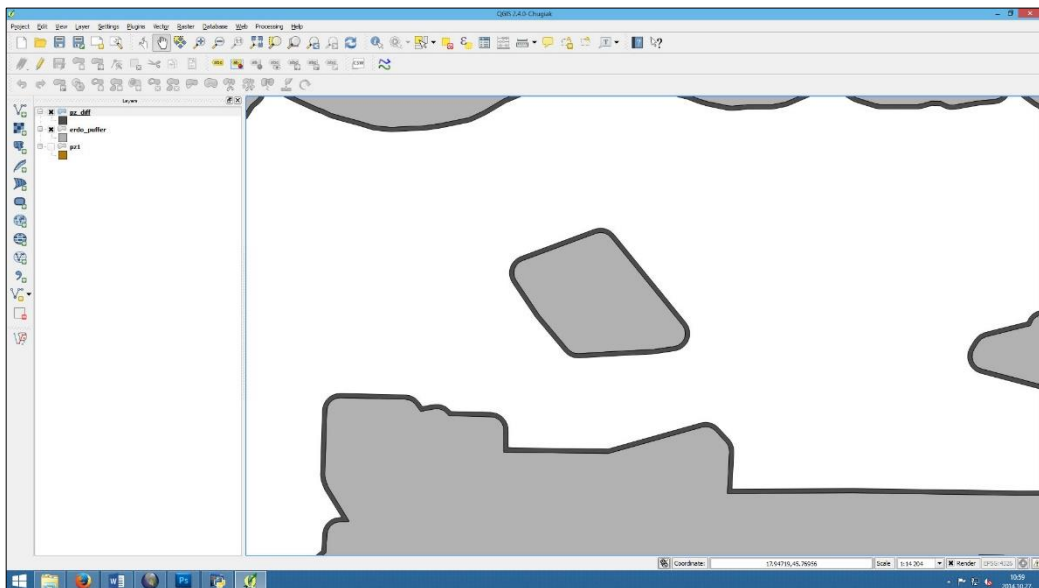
Az erdőfelületek magasságtorzító hatását kiküszöbölő algoritmus

A CORINE-ból nyert erdőfelületek köré elkészítettem egy pufferzónát, amely az SRTM felbontásának háromszorosa, vagyis 270 méter széles (2.10. ábra). Az algoritmus az alföldi sík területeken kiszámítja az átlagos magasságokat az erdőben és a pufferzónában. Ha a két terület átlagos magasságkülönbsége nagyobb, mint a CORINE adatbázisban

definiált erdőmagasság – vagyis 5 méter – akkor azokon a területeken az erdőben és a pufferzónában is a magasságokat a pufferzóna átlagmagasságának szintjére kell csökkenteni.

Az algoritmust teszteltem keskenyebb, 180 m széles pufferzónával is, ekkor általánosságban kijelenthető, hogy a pufferzóna új, kiszámolt átlagmagasságai 0,5–1 méterrel nagyobbak voltak, mint a 270 méteres esetben. Összehasonlítva a szomszédos területekkel a szélesebb pufferzóna esetén szinte teljesen belesimult a környezetébe a korábbi erdőfolt.

Az algoritmus az erdő határának meghatározásakor azokat a pixeleket veszi figyelembe, amelyek középpontja a poligonon belül esik. Előfordul, hogy egy-egy pixel részben „kilóg” az erdőhatárt jelző poligonból. Ha csak az erdők magasságát csökkentenénk a pufferzóna átlagos magassági szintjére, a határokon helyenként több méteres kiugrások jelentkeznének. Ezért volt szükséges a pufferzóna magasságainak megváltoztatása is. A gyorsabb számítások érdekében a domborzatmodellt csempékre (tile) bontottam, így csak azokat a csempéket olvasta be a program, amelyeken az aktuálisan vizsgált erdőfolt található. A programkódot a CD melléklet tartalmazza (M: II./5.).



2.10. ábra: A pufferzóna-gyűrűk QGIS-ben. Szélességüknek 270 méter az volt ideális

A kapott eredmény kiértékelése

Az új tengerszint feletti magasságok minden esetben jobban közelítik a valós értékeket. Az ismertetett módszer alkalmas arra, hogy az erdők, mint domszerű képződmények eltűnjenek a felületmodellből (2.11. ábra).

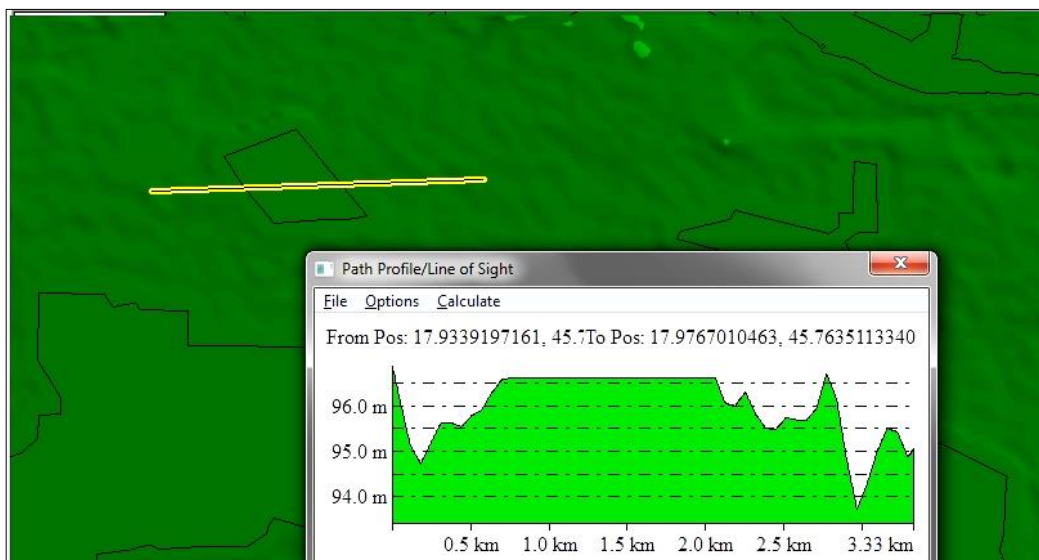
A javított SRTM modellt összevettem az Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) megfelelő szelvényeivel is. Az átlagos magasságkülönbség -2 – -4 közötti méter, vagyis az SRTM modell ennyivel alacsonyabban helyezkedik el az EOTR-hez képest. A különbségnek több oka is lehet.

– Először is a 0 méteres szintfelület különbözősége. Az EOTR magassági rendszerét a balti-tengeri középvízszinthez viszonyítják, amely fölött a nadapi alappont 173,1638 m magasban fekszik (MSZ 7772-1 1997). Az EGM96-os geoid globális modellnél a Világtenger átlagos középtengerszintjét az 1992-es TOPEX/Poseidon műhold méréseivel határozták meg. Az SRTM magasságait az EGM96-os geoid modell alapján állapították meg. A balti-tengeri kronstadti mérce és a TOPEX/Poseidon küldetése során kiszámolt 0 méteres magasságok között az eltérés 11,1 cm a világtengerszint javára (BURSA ET AL 1999); ez az eltérés tehát nem számottevő.

– A szintvonalakra vonatkozó közép-, és maximális hiba az 1:10 000-es térképen 1 méteres alapszintköz esetén $\pm 0,4$ és $\pm 0,8$ méteres, erdős területen ennek kétszerese is lehet (MSZ 7772-2 1997). Ehhez adódnak hozzá a generalizálásból adódó pontatlanságok az 1:100 000 térképszelvényen. Összevettem az 1:10 000 szelvényeken található szintvonalakkal. A generalizálásból adódó eltérések nem számottevőek, de hatásukat nem lehet teljesen kizárni.

– Ezen kívül az SRTM dokumentációja szerint a modell magassági hibája ± 16 méteren belül esik.

– Számottevő különbség származhat még a növényzet jelenlétéből is.



2.11. ábra: Az SRTM modellből törölt erdőfelület hosszszelvénye

A felsorolt eltérések összegződése azt eredményezi, hogy sík területen az SRTM modell alacsonyabban helyezkedik el egy EOTR szelvényből készített digitális domborzatmodellnél.

Korábban már többen tettek kísérletet az SRTM modell javítására, ezekből az eredményekből említek meg néhányat. Az egyik ilyen, globális próbálkozás az ACE2 GDEM (Altimeter Corrected Elevation 2), de ebből, sajnos nem sikerült kiszűrni az erdőket a Kárpát-medencében. ACE2 GDEM-et 2007-ben készítették, az SRTM és műholdról történt radaros magasságmérési adatok alapján (Satellite Radar Altimetry). A dokumentáció szerint a trópusi esőerdőket például sikerült eltüntetni az eredeti SRTM-ből.

A másik jellemző módszer az SRTM összevetése valamely nemzeti térképrendszer szintvonaláiból készített domborzatmodelllel. Ennek legnagyobb hátránya, hogy ha nincs hozzáférésünk a már kész digitális domborzatmodellhez, a szintvonalak digitalizálása igen munkaigényes feladat (SZABÓ–SZABÓ 2010). Továbbá ügyelni kell arra, hogy a szintvonalakból ne lépcsős térszint hozzunk létre a domborzatmodellben (interpolációval ez elkerülhető, de tovább torzítja az adatokat).

Születtek olyan próbálkozások is, amelyeknél Landsat műholdfelvételeken automatikusan kiértékeltek az erdőfelületeket, ezek segítségével határozták meg az erdőmagasságot, és vonták ki az SRTM modellből (GALLANT–READ–DOWLING 2012).

Az általam alkalmazott módszer legfontosabb eredményeiként említeném meg, hogy kizárólag ingyenes adatokkal és szoftverekkel dolgoztam, illetve az erdőfelületek kivonása teljesen automatizált, egyedül a pufferzóna létrehozását kell megoldani térinformatikai szoftverben.

A módszer további lehetséges használatáról

Mint korábban kifejtettem ez az automatizált, szabad elérésű adatokat, és szoftvereket felhasználó módszer elsősorban domborzati térképek készítésénél használható. A módszernek hála a becsült magassági értékek jóval pontosabbak, mint az előfeldolgozás nélküli SRTM.

A számítások során meg tudjuk határozni egy adott erdő átlagos magasságát is. Ez az erdőgazdálkodás, valamint az erdők fejlődési vizsgálata során hasznos kiegészítő adat lehet, egy Landsat vagy Spot műholdfelvétel mellett.

Az árvízvédelem kisméretarányú, átnézeti térképeinél is szerepe lehet annak, ha egy modelltől töröltük az erdőket. Ez esetben az erdők nem menedékként, vagy dombként jelennek meg, hanem az árvíz által potenciálisan veszélyeztetett területként.

Kisméretarányú térképeken gyakran van szükség a domborzat ábrázolására. Ezeket előszeretettel használják a térképkészítők magasságiréteg-színezést vagy szintvonalas ábrázolást. A választott mintaterületen – a Dráva mentén – az átlagos magasságok 100 m körüliek. A 100 méteres szintvonalat pedig a legtöbb térképen ábrázolják. Ilyenkor az erdők kisebb-nagyobb halmokként, dombokként jelennek meg a térképen, ezzel hamis képzetet keltve a térképolvasóban. Az erdőfelületek kiszűrése után ezek az egyenlőtlenességek eltűntek.

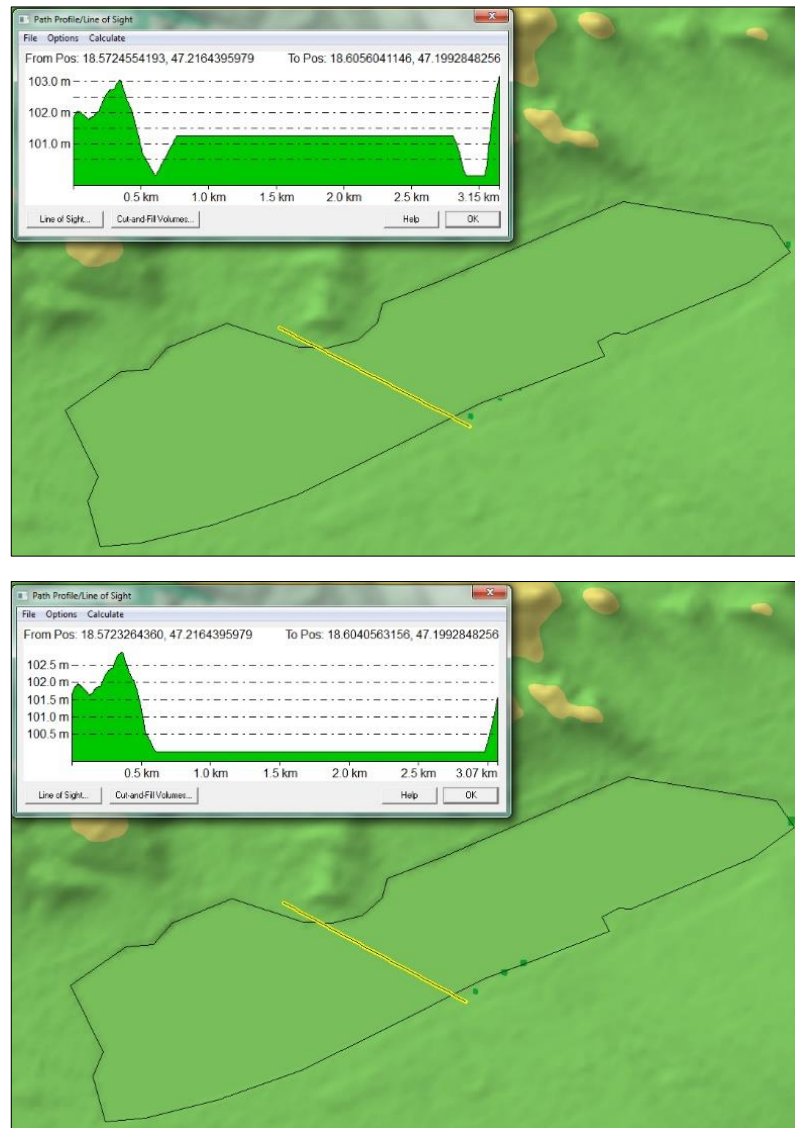
Az itt bemutatott algoritmus sík területeken jól dolgozik, a dombsági, hegyvidéki területeken viszont módosítások szükségesek. A munka következő fázisa lehetne az algoritmus kidolgozása dombsági és hegyvidéki területek erdeinek kiszűrésére, ehhez azonban a nehézséget az átlagos fmagasság becslése okozza. Mivel a dombsági és hegyvidéki területeken kevésbé „feltűnő” az erdőfelületek által okozott magasságtorzulás kisméretarányú térképeken, ezért ezzel jelen dolgozat keretében nem foglalkoztam.

A vízrajzi elemek magasságtorzulásait csökkentő algoritmus

Az előbb ismertetett algoritmus egyszerűsített változatával lehetséges felületi vízrajzi elemek, például tavak, vagy nagyobb folyók vízfelszínének vízszintessé tétele. Az SRTM 90 legújabb változatában (v.4.) helyesen, vízszintes felületként szerepel a Balaton vízfelszíne, és nem a fenékdomborzat látszik. Ellenben a Velencei-tónál, a Fertőnél vagy a Tisza-tónál jól megfigyelhető a nádas jelenléte: ez akár 6–8 méteres eltérést is okoz a tényleges vízfelszíni magassághoz képest. A fentebb ismertetett algoritmus módosításával lehetséges ezeknek a magasságtorzító tényezőknek a csökkentése. Erre kétféle módszert is kidolgoztam.

Alapanyagként szükség volt egy felszínmodellre, valamint egy vektoros adatbázisra, amely tartalmazza a tavak illetve folyók alaprajzát (ebben az esetben nem kell pufferzóna, hiszen csak a vízfelület magasságát számítottam át). A gyorsabb számítások érdekében a domborzatmodellt itt is csempékre (tile) bontottam. Az egyik módszerrel kiszámítom a vízfelszín átlagos magasságát, és ezt az átlagmagasságot helyettesítem be a vízfelület új magassági értékeként. A másik módszerrel megkeresem a legnagyobb gyakoriságú magasságot (méterre vagy fél méterre kerekítve), és ez a szám került be a vízfelület új magasságaként.

Az első módszer inkább csak teljes egészében meredek partvonalú tavaknál használható, vagy ott, ahol a nádas által borított felület jóval nagyobb, mint a nyílt vízfelszín; míg a másodikat részben vagy egészben sík területtel határolt tavaknál javaslom, illetve ott, ahol a nyílt vízfelület mérete meghaladja, vagy közelítőleg megegyezik a nádaséval (2.12. ábra, M: II./5.).



2.12. ábra: A magassági metszet jellemzi a két módszer közötti különbséget: az átlagmagasságnál a vízfelület sík partszakasz esetén magasabbra kerül, míg a második módszerrel jobban megközelíthető a vízfelület tényleges szintje (Velencei-tó)

Jelentősebb és hosszabb vízfolyások, pl. Duna esetén is szükség lehet vízfelületének magassági pontosságának javítására. Ekkor figyelembe kell venni a terepfelszín lejtését, szemben a síkfelületű tavakéval. Csak akkor érdemes foglalkozni a folyó magasságának javításával, ha az egy hosszabb, meghatározott szakaszon végig szélesebb, mint a felhasznált

domborzatmodell felbontásának háromszorosa, egyébként nagy változást nem fog okozni a magasságjavítás.

2.4.5 Árnyékolt domborzatrajzú (summerolt) térképek

A summerolt ábrázolást automatizálták talán legkorábban. Ma elmondhatjuk, hogy azokban a szoftverekben, ahol lehetőség van megnyitni domborzatmodelleket, ott domborzatárnyékolás is készíthető. Ezeknél a summer színe (általában szürkés vagy barnás), illetve a megvilágítás iránya és magassága adható meg paraméterként. Hagyományosan, ferde megvilágítás esetében a képzeletbeli fényforrás ÉNY-i irányban helyezkedik el, és 45°-os szöget zár be a horizonttal. A térképraajzolóknak többségében jobb kezesek voltak, ezért így volt a legkényelmesebb summerolni (HUNYADI 1964).

A számítógépekkel készített summer esetén általában az említett megvilágítási iránnyal és szöggel számolunk, melyet Eyton formulájával számítjuk ki. DEM-ek esetén, 3×3-as mátrixot használunk: vesszük a kernelablak alá eső magasságokat, kiszámítjuk a lejtés irányát és meredekségét a mátrixban. Majd megadjuk a mátrix középső pixelére a reflektancia értékét. Ezt végül egy [0–255] tartományra konvertáljuk (SLOCUM 2005).

A summer generalizáltsági fokának is követnie kell a méretarányt. A summer generalizálásának lehetőségeit a domborzatmodellek generalizálásánál ismertetem.

2.4.6 Izovonalas térképek

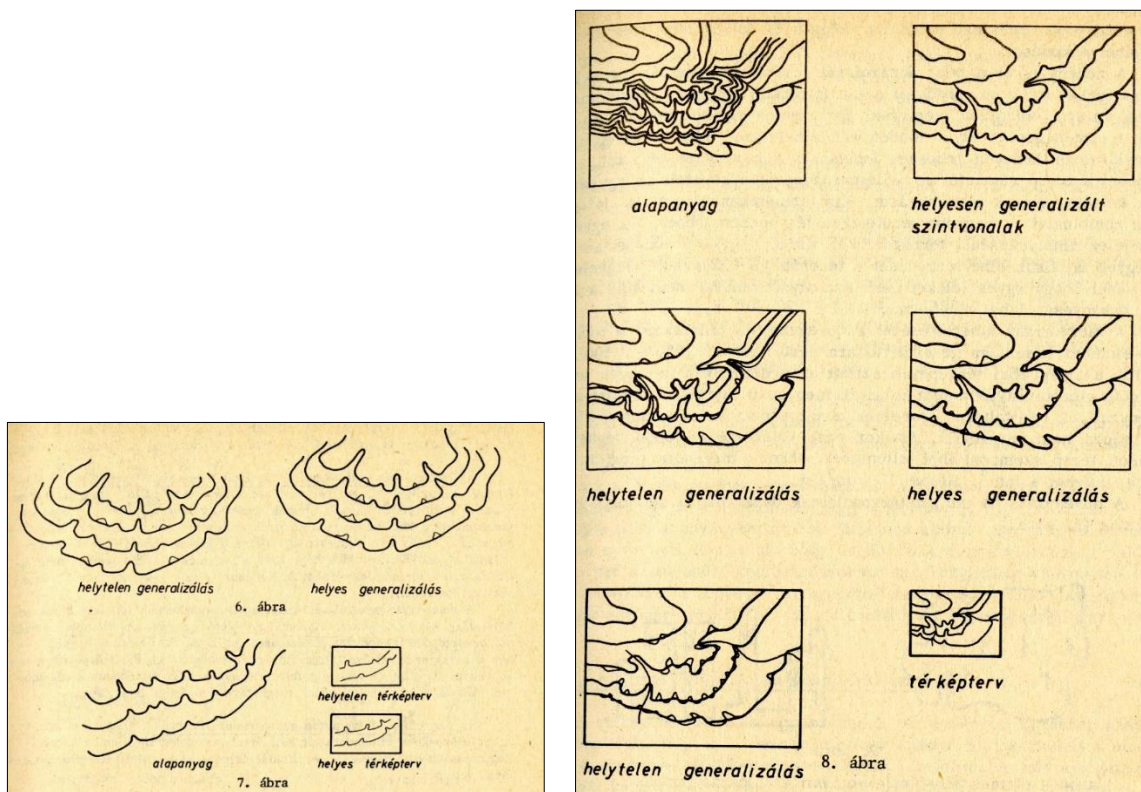
A szoftverekkel generált szintvonalak méretaránya függ a modell felbontásától, és csak kis mértékben a szintvonal-generálási algoritmustól. Ma a vezető térinformatikai szoftverekben hasonló minőségű szintvonalak hozhatók létre (M: III./1).

Az így keletkező szintvonalrajz csak vonalláncokat tartalmaz. Ezek átvitele kisebb méretarány-tartományokra kétféleképpen lehetséges. Az első módszernél magukat a vonalakat egyszerűsíttem és simítom algoritmusokkal. A második esetben a háromdimenziós domborzatmodellt egyszerűsíttem, és az így létrejött modellből generálom a szintvonalakat.

3. A szintvonalrajz horizontális generalizálása

A szintvonalrajz a földfelszín két dimenzióban leképezett mása. A szintvonalas ábrázolás technikájával több szakirodalom is foglalkozik, így RÁTÓTI 1979 és KLINGHAMMER–PAPPVÁRY 1983 is.

Kevesebbet olvashatunk viszont a helyes generalizálásáról. Habár találtam néhány ábrát Az automatizálások a kartográfiában II. című könyvben (STEGENA–KLINGHAMMER–FÜSI 1977), a kartográfiai tankönyvben (3.1. ábra) (KISS PAPP 1983), valamint az EOTR T.5. szabályzatában is (T.5. 1981), de részletes útmutatók nem állnak rendelkezésünkre. A generalizált rajz lényege, hogy a terep legfontosabb idomait adja vissza, Márton Mátyás szerint hiteles „karikatúrája” legyen (IMHOF 1965, STEGENA 1970, MÁRTON 2012). Mintául szolgálhatnak korábbi, kézzel készített térképek a területről, illetve a terület földrajzi jellemzőinek ismerete.



3.1. ábra: Példa a helyes és helytelen szintvonal-generalizálásra a Kartográfia és térképsokszorosítás című tankönyvben (KISS PAPP 1983)

Az automatizált generalizáláshoz vonalegyszerűsítő és simító algoritmusokat használtam, ezért a következő részben röviden ismertetem a rendelkezésünkre álló eljárásokat. A fejezet célja, hogy részletes áttekintést nyújtson az algoritmusok működéséről. A matematikai háttérrel részletesebben az eredeti cikkekben olvashatnak.

3.1 Vonalegyszerűsítés és simítás

A hagyományos térképek rajzolásánál akár manuálisan, akár térképrajzoló szoftverben a térképszerkesztő „fejében” zajlik a generalizálás: csökkenti a kanyarulatok számát, simítja a vonalat. Ha ezt a folyamatot automatizálni szeretnénk, matematikai alapokra kell helyezni az egyes lépéseket. Alapvetően két csoportba soroljuk az e célra alkalmas algoritmusokat: egyszerűsítő és simító algoritmusokra (SLOCUM 2005). Egyszerűsítés során a vonal töréspontjainak száma csökken, a vonal szerkezete egyszerűsödik. Simítás során a csúcsokat, szögleteket távolítjuk el, ezáltal kerekébbé, „simábbá” válik a vonal: új pontokat számítunk ki. Li (LI 2007) ezzel szemben egy újabb csoportot is bevezetett, ezek a méretarányfüggő generalizáló algoritmusok. Ezekben a méretarány paraméterként megadható. Véleményem szerint ugyan mindkét csoportosítás helytálló, de a méretarányfüggő generalizáló algoritmusok besorolhatók a vonalegyszerűsítők közé, annak egy alcsoportját képezik.

3.2 Az egyszerűsítő algoritmusok áttekintése

Ezeket a rutinokat többféleképpen is csoportosították, magyarul is megjelent a Térinformatikai alapismeretek c. könyvben fordításként (NCGIA CORE CURRICULUM 1994). Li (LI 2007) ezt használta fel és fejlesztette tovább 2007-ben. Az algoritmusok alapos ismerete alapján a következő csoportosítást javaslom: *méretarány-független* és *méretarány-függő eljárások*. A méretarány-független algoritmusoknál nem adható meg sem a kiindulási méretarányszám, sem a célméretarányszám paraméterként (természetesen közvetett módon a különböző toleranciaértékhez rendelhető méretarány pl. Ungvári 2015): ide sorolom a hagyományos vonalegyszerűsítő rutinokat, az alább felsorolt csoportokban, amely már McMaster és Shea kategorizálásán alapul. Ezeknek az algoritmusoknak a futtatásához legalább két bementi paraméter szükséges: a vonalláncok töréspontjainak koordinátái, és legalább egy toleranciaérték, ez lehet távolság, terület, szög, számosság. A teljesség igénye nélkül, a kartográfiai gyakorlatban eredményesen használható, illetve a térinformatikai szoftverekbe épített algoritmusokat tekintem át, kitérve legfontosabb jellemzőikre.

A méretarány-független eljárások esetében a vonalak meglévő csomópontjainak száma csökken, általában megtartják az eredeti csomópontokat, de némely esetben előfordulhat, hogy újakat számítanak ki.

Független pontok módszere. Egyszerű algoritmusok, nem veszik figyelembe a vertexek közötti kapcsolatokat. N-edik pont módszer: megtart minden n-edik pontot a vonal töréspontjai közül. N természetes szám. Túl sok töréspont esetén érdemes először ezzel ritkítani a csomópontok számát, de önmagában nem alkalmas generalizálásra.

Lokális módszerű (szomszédospont-vizsgálati) eljárások. Szomszédos pontokat vizsgál, például a köztük lévő távolság, az általuk bezárt szög, vagy ezek kombinációja alapján. A pontok közötti távolság és az általuk bezárt szöget felhasználó algoritmust Jenks után nevezték el. A merőleges távolság esetén a vizsgált, vagy más néven a kritikus pont előtti és utáni csomópontot köti össze egy képzeletbeli egyenessel, és a kritikus pont egyenestől való távolságát vizsgálja meg.

Korlátozottan kiterjesztett lokális eljárások. A pontok szélesebb szomszédságát nézik meg: például a Lang, a Deveau, és a Visvalingam–Whyatt algoritmusok. A Lang-algoritmusnak két, a felhasználó által megadható paramétere van: az egy lefutásban maximálisan vizsgálandó pontok száma, és egy merőleges távolság az aktuálisan vizsgált első és utolsó pontot összekötő egyenestől (LANG 1969). A Deveau-algoritmus a felesleges, az objektum alakját nem meghatározó pontokat törli, helyenként újakat határoz meg. Két bemeneti paramétert adhatunk meg, ezek a simasági faktor és a maximális élességi szög (DEVEAU 1985). A Visvalingam–Whyatt-rutinnál az egyetlen választható paraméter az éppen vizsgált három pont által bezárt háromszög területe, vagyis a hatékony terület (VISVALINGAM–WHYATT 1993).

Nem korlátozott, kiterjesztett lokális eljárások. A Reumann–Witkam-algoritmus esetén a vonal morfológiája szabja meg a vizsgált pontok számát: a kritikus pontot a következő ponttal összekötő egyenes irányában húzott sávon belül elhelyezkedő pontokat törli, majd áthelyezi a kritikus pontot az első, sávon kívül eső pontba. A választható toleranciaérték a sáv teljes szélességének felét jelenti. Eredményeként hosszú egyenes szakaszok jönnek létre (REUMANN–WITKAM 1974). Ebbe a csoportba sorolom a Wang (–Müller)-féle algoritmust is, amely a vonalak kanyarulatait egyszerűsíti, és amelyben egy paramétert adhatunk meg, ez a kanyar mérete (a polyline kanyart leíró része, és a kanyar alapvonala által bezárt terület). A kanyar a vonal azon szakasza, ahol az egymást követő

csomópontok irányultsága vagy negatív, vagy pozitív, vagyis amíg nem következik be lokális irányváltás, azaz inflexió a vonal futásában (WANG–MÜLLER 1998). Ide tartozik még a lineáris regresszió alapuló vonalegyszerűsítés is, amelyet részletesebben a 3.4 fejezetben ismertettek.

A **globális eljárások** a teljes vonalláncot, vagy a vonal egy hosszabb szegmensét veszik figyelembe; iteratív módszerrel választják ki a kritikus pontokat. A legszélesebb körben alkalmazott algoritmus a (Ramer–) Douglas–Peucker-féle egyszerűsítő rutin (RAMER 1972, DOUGLAS–PEUCKER 1973). A rekurzív eljárás merőleges távolságokkal dolgozik, ez a változtatható paramétere. Első lefutásban megvizsgálja, hogy melyik pont esik legtávolabb a kezdő- és a végpontot összekötő egyenestől. Ha ez a távolság kisebb, mint a toleranciaérték, ez lesz az új szakasz (vagy vonal); ha nagyobb, akkor rekurzívan újra hívja önmagát az eljárás, mindaddig, míg be nem fejezi a vonal vizsgálatát. A kezdő- és végpontot mindig megtartja.

A *méretarányfüggő rutinok* közé sorolom a Li által generalizálónak nevezett algoritmusokat, amelyekben közvetlenül megadható a kiindulási és célméretarányszám is (itt ez lesz a toleranciaérték). Perkal ötlete az automatizálási gyakorlatba nem került át. Ennek lényege, hogy a vonal mentén mindkét oldalon köröket helyezünk el oda, ahol a vonalnak inflexiós pontja van. A kör vonalláncot érintő szakaszai lesznek az új vonal szakaszai. A belső és külső elhelyezését körök különbségéből jön létre a generalizálási határzóna. Erre Perkal nem javasolt gyakorlati megoldást, de az örvény-algoritmus (angolul: whirlpool) működése ehhez hasonló (DOUGENIK 1980). Méretarány szerint változó sugarú köröket helyezünk el az egyes csomópontokban. Ahol a nem szomszédos körök átfedik egymást, ott a méretarányhoz képest túl hegyes csúcs van, amit egyszerűsíteni kell.

A Li–Openshaw-féle eljárások figyelembe veszik az objektumok méretét. Ha az adott elem a célméretarányban kisebb, mint a minimális méret, akkor elhagyják. Bármilyen komplex felépítésű is az elem, ha nagyobb a minimális méretnél, egyszerűsíthető. A méretarány szerint definiálni kell egy rászteres rácshálót, amely az egyes celláiban elhelyezkedő objektumrészlet töréspontjaiból egy új pontot átlagol, majd ezeket köti össze (LI 2007).

Az objektumok területét megőrző kartográfiai vonalgeneralizálási algoritmus egy összetett módszer, amely két lépésben működik: először egyszerűsít, majd az ezután megmaradt, túl éles csúcsokat elsimítja. Az egyszerűsítés során csökken a vonal

komplexitása: négy pontból álló csoportokból képez ponthármasokat úgy, hogy a négyszög területe megegyezik a háromszög területével, ezáltal nem keletkeznek bezárult felületek, mint pl. a Douglas–Peucker-algoritmussal. A simítást csak ott hajtja végre, ahol túl éles szög keletkezett, az egyszerűsítésnél is alkalmazott a területmegőrző módszer ellentétjével. Bemeneti paraméterként csak a célméretarány nevezőjét kell megadni (QGIS-es verzió). Az algoritmus egy tapasztalati úton meghatározott változót is tartalmaz (vonalvastagság), amelyről a szerző kijelenti, hogy interaktívan egyelőre nem állítható, csak a forráskódban, de a helyes eredményhez szükség lehet az eredeti felülbírálására (TUTIC 2009). Ezáltal az algoritmus a méretarányfüggő, egyszerűsítő eljárások közé tartozik, bár simítást is végez, az csak részleges, kivitelezésében nem tartozik a simító algoritmusok közé.

3.3 A vonalsimító eljárások áttekintése

A simítás megszabadítja a vonalláncokat az éles szögektől, csúcsoktól, az ún. zajoktól, és részletektől. McMaster és Shea három csoportba sorolja a simító algoritmusokat (SLOCUM 2005), míg Li már négy kategóriát állít fel (LI 2007). A kétféle csoportosítás alapján kidolgoztam egy újabbat, amely egyesíti a kettőt. A magyar nyelvű szakirodalomban eddig még nem foglalkoztak vonalsimító eljárások csoportosításával, elnevezésével. Vannak olyan csoportok, amelyek mindkét szerzőnél megegyeznek.

Súlyozott átlagok. A vonallánc csomópontjainak a szomszédos töréspontok átlaga alapján egy új pozíciót számít ki. Ide tartozik pl. a simítás a McMaster-féle súlyozott átlaggal, és simítás a McMaster-féle csúsztatott átlaggal. Mindkettőnél két bemeneti paraméter van, az egyik az átlagolásban részt vevő pontok száma (célszerű páratlan számú pontot átlagolni), a másik szám az új pont eredetihez való közelebb „csúsztatásának” mértékét fejezi ki [0,1] között, ahol 0 az eredetivel megegyező, 1 pedig az átlagolásban bevont pontokból számított új helyzetet jelenti. A csúsztatott átlag esetén az új töréspont eltolása lineáris, súlyozott átlag esetén a távolsággal fordítottan arányosan súlyozott.

Boyle „előretékintő” algoritmusa (forward looking) esetén a megadható paraméter egy szám (x), amelytől függ az új pont helyzete. Az eredeti algoritmust kissé módosítva ültették át a gyakorlatba: a megadott szám a kritikus pont új helyzetének kiszámításához szükséges. A következő x darab pont 1/x súllyal vesz részt a kritikus pont új helyzetének számításában (BOYLE 1970). A szerző többek között a mélységvonalak simításához ajánlja, ezért az algoritmust szintvonalakon is megvizsgáltam (M: III./10–11.).

Görbeillesztés során a vonalláncot görbékkel helyettesítjük. Mivel a térinformatikai szoftverek vagy fájlformátumok többségében nem támogatják a görbék leírását, ezért ezeket polyline-okkal ábrázoljuk úgy, hogy megfelelő sűrűséggel megadjuk a görbe pontjait, így a célméretarányban görbének látszanak. A görbéknek matematikai szempontból két fajtája lehet: interpolációs (a görbe átmegy a vezérlőponton), vagy approximációs görbe (követi a vezérlőpontot, de általában nem megy át rajta). A görbeillesztés során a gyakorlatban általában harmadfokú görbékkel helyettesítjük az eredeti „törött” vonalat. A szoftverekben használt görbéket harmadfokú egyenletekkel, vagy polinomokkal írhatjuk le a legegyszerűbben. A Bernstein-polinommal állítható elő a Bézier-görbe (KOVÁCS 2011). Egy harmadfokú Bézier-görbe ív futásvonala a két végpont és a két vezérlő vagy más néven kontrollpont koordinátájának ismeretében írható le. Ha egy „törött” vonalat helyettesítünk görbével, akkor az egyes görbeívek érintői a végpontokban párhuzamosak és folytonosak, így biztosítható a görbe vonal „sima” futása. (Két görbe folytonos illeszkedésű, ha az egyik görbe második deriváltjai a végponton megegyeznek a másik görbe második deriváltjaival a kezdőponton. Ezeket a folytonos, összetett görbéket szplájnoknak nevezzük.) Az egyes görbeívek futásvonalának számításához a két végpontra, és egy íveltségi együtthatóra van szükség: ezekből interpolálható a két kontrollpont, amivel már megadható görbe (SZIRMAY-KALOS 2003, AGG 2007).

A Bézier-görbéhez „küllemre” igen hasonló megoldást kapunk, ha Hermite-görbéket használunk fel. Ezek bár interpolációs görbék, de ugyanúgy megadhatók polinomokkal is: két pont és két érintő vektor lesz az input adat a görbeívek számításakor (KOVÁCS 2011).

A görbék ezen kívül lehetnek approximációs B-szplájnok is. Ennek két altípusa van: a NUBS (nem-uniform B-szplájn: az egymást követő görbeszegmenseknek nem egységnyi intervallum felel meg) és a NURBS (nem-uniform racionális B-szplájn: az egymást követő görbeszegmenseknek nem egységnyi intervallum felel meg és a súlyfüggvények két polinom hányadosai is lehetnek). Előnyük, hogy rugalmasan alakíthatók, ezért inkább a mérnöki tervezésben használják őket, a térinformatikai szoftverekben kevésbé (SZIRMAY-KALOS 2003).

A Chaikin-algoritmussal a vonallánc szögletességét csökkentjük: veszünk három, egymást követő csomópontot (P_1, P_2, P_3), amely a vonallánc két szakaszát (P_1-P_2 és P_2-P_3) alkotja. Mindkét szakaszra, a P_2 közelében beszúrunk két új pontot, és a P_2 -t töröljük. Ugyanezt végrehajtjuk a teljes vonalláncre. Ha ezt a folyamatot egymás után legalább háromszor ismétéljük, általában kellően sima lesz az új vonallánc, megszűnik a vonallánc

„sarkossága” (CHAIKIN 1974, RIESENFELD 1975). Az így kapott görbék másodfokú B-szplájnek.

Bár a polinomiális approximáció exponenciális kernellel (PAEK) eredményeként kapott vonalak a Chaikin-algoritmushoz hasonlítanak leginkább, ezért ebbe a csoportba soroltam be, de a felhasznált matematikai módszer alapján mindhárom kategóriába illene. A görbe egyes szakaszain a csomópontok helye alapján átlagolt pontot számít ki egy, a Gauss-szűrőhöz hasonló, de azzal nem azonos kernellel (konvolúció). Ehhez másodfokú polinomokat is felhasznál (BODANSKY ET AL 2002).

Zajszűrés alapú simítás. A zajszűrés során a vonalláncot digitális jelnek tekintjük. A kisebb formákat reprezentáló ívek, görbületek a zajok, ezeket kiszűrjük, a nagyobb „trendeket”, görbületeket megtartjuk. A Fourier-transzformációt például a digitális jelfeldolgozásban is használják. A szűrés időbeli folyamatokról szól, ez a szintvonalak esetén távolságot jelent, a frekvencia pedig térfrekvenciát. Mivel a szintvonalak általában nem ábrázolhatók függvényként (többértékű függvény nem fejthető Fourier-sorba), ezért Stegena a következőképpen járt el: egy síktartományt rendel minden szintvonalhoz (egy lépcső jön létre a szintvonal két oldala között, melynél a szintvonal egyik felén lévő magasságérték 1, a másikon 0), ezen szimmetrikus, kétváltozós szűrőt futtat. A 0,5 magasságú pontokat összeköti, ez lesz a szűrt vonallánc. A szűrők közül a felülvágó szűrőt ajánlja (STEGENA 1970).

A másik lehetséges módszer a „gyors” Fourier-transzformáció. Többféle tudományban is gyakran használják zajszűrésre, ilyenkor a vonalakat szinusz és koszinusz függvények sorára bontják fel. Boutoura bebizonyította, hogy önmagában az izovonalak X és Y koordinátáinak használata esetén nem működik jól, helyette inkább a vonalak meredekségét használta fel (BOUTOURA 1989).

A wavelet-transzformáció is egy spektrális felbontás, azonban nem szinusz és koszinusz összetevőkre bontjuk fel a jelet, ahogy azt a Fourier-transzformáció esetén tettük, hanem például különböző frekvenciájú négyszögjelekre (LI 2007). A számítás folyamata a gyakorlatban igen összetett, ezért a wavelet- és a Fourier-transzformációt kevésbé használják térinformatikai szoftverekben: eredményük és hatásuk a vonalláncokon a tanulmányok szerint egymáshoz igen hasonló; a tanulmányokban bemutatott ábrák alapján nem javaslok kartográfiai alkalmazásukat.

A kígyóknak (angolul: snakes) nevezett eljárás a számítás módszere miatt igen lassú, de egy kisebb, kevesebb töréspontból álló adathalmazon a gyakorlatban is használható eredményt ad (M: III./12.). A módszer az energia-minimalizáción alapul: a vonal belső és külső energiáját kell a lehető legalacsonyabb szintre levinni. A függvénynek két, a felhasználó által választható paramétere van: a belső energia, amely a vonal alakját és karakterisztikáját írja le; és a külső energia, amely a vizsgálandó elem más térképi elemekre való hatását adja meg (BORKOWSKI 1999).

3.4 A szintvonalak horizontális generalizálása a gyakorlatban

A szintvonalak generalizálása összetett feladat: nemcsak horizontális, hanem vertikális generalizálás is szükséges. A horizontális generalizálást tulajdonképpen két részre bonthatjuk: a nagy- és közepes méretarányban végrehajtott generalizálásra, valamint a kisméretarányú térképek domborzatának generalizálására. Topográfiai térképeken (vagy olyan térképeken, amely alapnak a topográfiai térképek domborzatát használják, pl. tájfutó, turista térképek) a generalizálás szorosan szabályokhoz kötött, a szerkesztési utasításba foglalt: pl. mit kell ábrázolni, milyen sűrűn és hogyan kell felvenni a felezőszintvonalakat, hol szükséges kiegészítő domborzatrajz (T.5. 1981). A kisméretarányú földrajzi, autós vagy egyéb tematikájú térképen a generalizálást jobban befolyásolják térképszerkesztő földrajzi ismeretei. A horizontális generalizálás vizsgálatát ezért kétféle méretarány-tartományban végeztem. Nagy méretarányban az 1:10 000-es EOTR szelvényből nyert szintvonalakat egyszerűsítettem 1:100 000-re (vertikális generalizálást a szabályzat szerint készítettem) (M: III./19.). Kis méretarányban az algoritmusokat SRTM 90-es modelltől generált szintvonalakon teszteltem. A mellékletben (M: III./2–18.) számos képpel illusztrálom az eredményeket. A következőkben az egyes algoritmusok lehetséges használatát és a várható eredmények minőségét értékelem.

A horizontális generalizálás esetében többnyire az egyszerűsítő és simító eljárások kombinációját használhatjuk. Önmagában a vonalegyszerűsítés általában nem elég a megfelelő eredmény eléréséhez, ugyanis túl szögletes, „sarkos” vonal keletkezik. Többféle módszerrel is kísérleteztem. Kartográfiai szempontból az egyik legjobb eredményt a Douglas–Peucker-algoritmussal történő egyszerűsítés, majd utána a Chaikin-algoritmussal való simítás után kaptam. A módszer előnye, hogy végrehajtható QGIS-ben, de ArcGIS-ben is. (Az utóbbi szoftverben nem érhető el a Chaikin-algoritmus, de helyettesíthető a polinomiális approximációval.) Emellett bizonyos (ugyan szűkebb) méretarány-

tartományokban a Douglas–Peucker-algoritmussal való egyszerűsítés és utána Bézier-görbékkel történő simítás is jó eredményt hozott. (Kivitelezhető mindkét vezető térinformatikai szoftverben, de a QGIS-ben csak Hermite-görbékét tudunk használni.) Készítettem egy alkalmazást is Python nyelven, amely egy lépésben végrehajtja az utóbbi folyamatot, a felhasználónak csak a bemeneti adatokat és az egyszerűsítés mértékét kell megadnia. A programkód a CD mellékletben (M: II./7.) olvasható. A generalizálás menete ezzel a módszerrel a következő:

Szükség van egy szintvonalrajzot tartalmazó állományra, ezt generálhatjuk akár SRTM domborzatmodellből is. A felhasználó választja ki a generalizálás mértékét, adja meg a Douglas–Peucker-függvény paraméterét. Ha a forrásadatokat földrajzi koordinátaként tároljuk, akkor fokban; egyébként metrikus rendszerben (angolszász mértékegységekben is lehet) értelmezzük, ettől is függ a paraméter nagysága. Minél nagyobb ez a szám, annál erősebb mértékű lesz a generalizálás. Az adatsor beolvasása után vonallánckra bontjuk az állományt. A vonalláncként megyünk végig az állományon, a Douglas–Peucker-algoritmus rekurzívan hívja újra önmagát. Két függvényből áll, az egyikkel kiszámítja a merőleges távolságot az aktuális pontok között, míg a másik a toleranciaértékkel való összehasonlításért, illetve az új vonallánc töréspontjainak mentéséért felelős. Ha befejezte az egyszerűsítést a vonalláncon, a simítás következik. Egymáshoz folytonosan csatlakozó, harmadfokú Bézier-görbe íveket illeszt úgy, hogy a végpontok átmennek a vonallánc töréspontjain, a két kontrollpontot pedig interpolálja. Az eredményt olyan állományban érdemes tárolni, amely felismeri a Bézier-görbékét, pl. SVG (Scalable Vector Graphics), de lehetséges a görbe nyomvonalát megfelelő töréspontsűrűséggel shapefile-ba is kiírni.

Egy másik generalizálási módszer, amelyet Agárdi Norbert készített (AGÁRDI 2014), a lineáris regresszió alapul. Az algoritmus az egyes görbeszakaszokat egy regressziós egyenessel helyettesíti (ahol ez a meghatározott toleranciaértéken belül található, ugyanahhoz a regressziós egyeneshez tartozik); a generalizálás mértéke a tolerancia növelésével emelhető. A regressziós egyenesek harmadfokú Bézier-görbe ívek érintői lesznek, két végpontjuk két folytonosan csatlakozó görbeív kontrollpontja. Ennek segítségével kiszámíthatók a Bézier-görbe ívek végpontjai. Az eredeti programot Pascal nyelven írta, és programozás technikai szempontból sem volt „gazdaságos”, ezért ezt is felújítottam Python nyelven, ennek kódját is a mellékletben közlöm (M II./8).

Mindkét módszernél keletkezhetnek bezárult, vagy önmagukat metsző görbeívek. Ezek többségének javítását érdemes lehet programozással megoldani. Mielőtt a vonallánkra

görbét illesztene a program, megvizsgálja, hogy melyik polyline áll csupán két vertex-ből – ezek a záródott görbeívek lesznek. Önmetszés esetén többnyire a kezdőponthoz második kontrollpont lesz közelebb, míg a végponthoz az első.

Görbeillesztés nélkül, a kiindulási és a célméretarány ismeretében használhatjuk a Li–Openshaw-módszerét raszteres-vektoros módban. A vonal mentén négyzeteket veszünk fel úgy, hogy az első a vonal kezdőpontjának közepe lesz, és a többi négyzet az előző oldalát vagy sarokpontját érinti, a vonal irányának megfelelően. Minden négyzetben kiszámítjuk a bennük elhelyezkedő töréspontok átlagát, amely az új vonal csomópontjai lesznek. Ha egy vonal „elfér” egy négyzetben, akkor ez kisebb lesz a minimális méretnél, így ezt elhagyjuk. Az algoritmus nem hoz létre önmetszéseket, azonban kissé szögletessé válhatnak a vonalak a kevés csomópont miatt. A szögletesség jól simítható a Chaikin-féle algoritmusal, még hozzá úgy, hogy csak a két szomszédos csúcsot vesszük figyelembe legalább két vagy három ismétléssel. Az eredeti cikk alapján hoztam létre, és teszteltem ezt az algoritmust is (M: II./8.).

A Wang-algoritmus, vagy másképpen a kanyarulatok egyszerűsítése (ArcGIS Bend simplify) is részben eredményes lehet. Az egyszerűsítés során a kisebb kanyarokat, íveket szünteti meg először, ehhez kisebb tolerancia érték tartozik. Ha a toleranciát növeljük, egyre inkább több utólagos, kézi helyesbitést igényel a rajz (M: III./8.)!

A Reumann–Witkam-algoritmus nem használható izovonalak egyszerűsítésére, mert utána hosszú egyenes szakaszokból álló vonalszakaszok keletkeznek, amelyeket nem lehet eltüntetni simítással.

A lokális eljárású módszerek a vonal néhány csomópontból álló szakaszát vizsgálják csak az egyszerűsítésnél, ezért önmagukban általában nem adnak jó eredményt, ezért inkább a feldolgozandó adatmennyiség előszűrésére használhatók.

A simító eljárásokkal is vegyesek a tapasztalataim. A görbeillesztések közül még eredményes lehet a Chaikin-algoritmus, kettő, vagy háromszori ismétléssel, ha nincsenek az állományban hosszú, egyenes vonalak. Ilyenkor előfordulhat, hogy csak a töréspont környékén lesz kerek a vonal, de egyébként megőrzi szögletességét. A QGIS-ben található implementáció hiányosságaként hozható fel, hogy nem kezeli az önmagába visszatérő szintvonalakat egységként: ha egy kúp alakú formát képezünk le, a vonal eleje és vége csúcsossá válik. Ehhez hasonló az ArcGIS-ben található PAEK (Polynomial Approximation

with Exponential Kernel – Polinomiális approximáció exponenciális kernellel) nevű algoritmus.

A Boyle „előretekintő” simító hatású algoritmusát önállóan, többféle paraméterrel is kipróbáltam egy tesztadatsoron: 7, 10, 15, 25, 50, 100 (figyelembe veendő pontok száma). A kapott eredmény igen hasonló a képszűrési módszerrel simított szintvonalakhoz (M: III./10.). Boyle szerint a mélységvonalakhoz, tapasztalataim szerint (természetesen) magassági vonalak generalizálásához is alkalmazható. Utólagos kézi javítások itt is szükségessé válnak: annál több javítás, minél nagyobb a toleranciaérték. Legfontosabb hibák: az önmagukba visszatérő szintvonalaknál (a térkép kivágaton belül) a generalizálás kiinduló és végpontja általában csúcsosan kapcsolódik össze; hasonló méretű völgyek ismétlődnek egymás után (hullámos felszín), a generalizált vonal a morfológiai forma ellentétjét veszi fel (pl. völgyből gerincforma lesz); kissé rövidülő völgyek vagy gerincek.

A súlyozott átlagokkal a szintvonalak „csúcsossága” csökkenthető, a töréspontok száma nem változik, ezért általában nem elegendő a szintvonalak generalizálásához.

Az objektumok területét megőrző kartográfiai vonalgeneralizálási algoritmus megfelelő paraméterválasztás esetén használható eredményt hoz, de megjegyezném, hogy a paraméterként megadott méretarány hamis, kevésbé generalizál.

Korábban a térképszerkesztő által végzett generalizálás során, ha az alapanyag és a céltérkép között túl nagy volt méretarány-különbség, akkor a generalizálást több lépésben hajtották végre, ezen alapulnak például a topográfiai térképsorozatok. Például, ha 1:100 000-es alaptérképből szerettek volna egy 1:500 000-es térképet készíteni, szükség volt egy köztes méretarányú térkép, pl. 1:250 000-es elkészítésére. A generalizálás automatizálásával a kiindulási és célméretarány között a különbség megnövekszik. A különbség nagysága leginkább a választott algoritmustól függ, de a szintvonalak sűrűsége (választott vertikális értékei) és a terület földrajzi jellege is befolyásoló tényező lehet. A mellékletben található ábrák szemléltetik, hogy mikor értem el azt a határ, amikor az eredmény már nem megfelelő (pl. M: III./4. 3. kép és M: III./8. 3. kép).

Ezen túl kipróbáltam, hogy mi történik, ha több, egymást követő lépésben alkalmazok automatizálási algoritmusokat: először ugyanazt az algoritmust hívtam meg a generalizált anyagon, második esetben egy másik algoritmust választottam. Azt vizsgáltam meg, befolyásolja-e az algoritmus választása a két esetet, illetve mennyire növelhető meg a

méretarány-különbség a kiindulási és a célméretarány között. A különbségek többsége már az egyszerűsítésnél jelentkezik.

Vannak olyan algoritmusok – pl. a Douglas–Peucker-algoritmus (röviden DP.) –, hogy ha két lépésben hajtom végre az egyszerűsítést, pontosan ugyanazt az eredményt kapom, mintha egy lépésben került volna rá sor.

A második esetben egymás után hívtam meg két, toleranciaértékként távolságot használó algoritmust. Ha toleranciaértékként ugyanazt a távolságot használtam, alig volt különbség az eredményben (DP., majd Lang) a két lépés folyamán. Ellenkező esetben, amikor a Lang-algoritmus volt az első, és a DP. a második, a különbség jelentősebb volt. Viszont ha a két végeredményt összevettem, némi különbség ugyan itt-ott jelentkezett, de nem számottevő. Az első esetben a rövidebb vonalak pontokká alakultak. Az előbbiekből következik, hogy ha önmagában csak a DP. algoritmust használtam volna, hasonló eredményt kaptam volna. Mindezt M: III./17. melléklet szemlélteti. Levonható a következtetés, hogy két egyszerűsítő algoritmus használata általában nem növeli meg annyira a méretarány-különbséget, hogy érdemes legyen ezt a módszert használni.

A topográfiai térképek automatizált generalizálása külföldön több országban is megvalósult: a legnagyobb előrehaladást Svájcban sikerült elérni. A generalizálás két lépésben valósul meg: adatbázis generalizálása (pl. vonalgeneralizálás, épületek egyszerűsítése és kiválasztása, utak kiválasztása, körforgalmak, csomópontok törlése stb.), majd a kartográfiai modell kialakítás (épületek és utak automatizált eltolása). A generalizálás és kartográfálást nagy részben az ArcGIS-ben hajtják végre, előre kidolgozott, automatizált folyamatmodell alkalmazásával (nem egyenként kell meghívni az egyes szelvényeken a folyamatokat). Több nemzeti térképészeti intézetnél is folynak hasonló törekvések, egyes folyamatok részleges vagy teljes automatizálására pl. Franciaország: IGN France, Nagy-Britannia, Ausztria (svájci közreműködéssel), Németország stb. (KÄUFERLE, 2015; CURTINOT, 2015; HOWLAND ET AL 2015). Sajnos hazánkban először a nagyméretarányú topográfiai térképek (EOTR) vektorizálását és adatbázisba szervezését kellene teljeskörűen megoldani, ezután lehetséges lenne új nemzeti térképrendszer létrehozása jóval kevesebb emberi munkával.

Kísérletet is tettem. A tízezres EOTR szelvényről Pázmánd környékéről digitalizáltam tíz méterenként a szintvonalakat, a célom a százezres szelvény szintvonalainak előállítás volt. Az egyszerűsítést a DP-algoritmussal (toleranciaértékként többféle paraméterrel

kísérleteztem, pl. 50, 100, 200, de a legmegfelelőbbnek 150 méteres mutatkozott), a simítást Chaikin-eljárásával (háromszori ismétléssel a két szomszédos pontot vizsgálja) végeztem. A szintvonalakon kb. 15–20 perces kézi javítást kellett végezni, ennek nagy részét a bezáródott, önmagába visszatérő szintvonalak tették ki.

Kipróbáltam még az objektumok területét megőrző kartográfiai vonalgeneralizálási algoritmust is, amelynél a méretarányként megadott paraméter nem jó: ha a százezer helyett ötszázezret adtam meg paraméterként, az felelt meg a célméretarány generalizáltsági fokának. (Tehát az algoritmus tapasztalati úton megválasztott beépített paramétere tényleg nem megfelelő!) Az eredmény nagy méretarányban kifejezetten jó, bezáródások sincsenek. Nagyon kevés utómunkát igényelt, helyenként a mesterkélten kör alakúnak kinéző görbeszakaszokat kellett csak javítani. Az M: III./19. mellékletben a mintaértékeléssel is kiegészítettem az elvégzett vizsgálatokat, amelyek szerint is érdemes a második módszert alkalmazni közepes méretarányú topográfiai térképek készítéséhez.

Az óceáni területeken a mélységvonalak generalizálása már kevésbé egyértelmű, mint a szárazföldön: nemcsak az 1960'-as, '70'-es, de még a '80'-as években is jelentek meg olyan szakkönyvek (KOCH 1960, KLINGHAMMER–PAPP-VÁRY 1983), sőt még manapság is térképek, amelyek szerint az óceáni területek kétszeresen generalizálnak kell lenniük a szárazföldekhez képest. Ezt az óceánok kevésbé változatos domborzatával magyarázták, ami azonban nem igaz. Manapság már rendelkezésünkre állnak domborzatmodellek, amelyekből kis méretarányban a batimetrikus izovonalak (mélységvonalak, izobátok) kinyerhetők. Amikor két, eltérő felbontású domborzatmodell kombinálását valósítottam meg, úgy tűnhet, hogy a korábban helyesnek mondott alapelvet támasztottam alá. Nem ez volt a célom, az ideális az lenne, ha a tengerről hasonló felbontású modell állna rendelkezésre, mint a szárazföldről. Ennek hiányában viszont egy kevésbé részletes domborzati térkép is többet árul el, mint a homogén kék felület. A tengerfenék-domborzat generalizálását is megvizsgáltam, a vonalak, majd a domborzatmodell generalizálásával is, amelynek eredményét 3.9 fejezetben közlöm. A hajózási navigációs térképek generalizálási kérdéseivel nem foglalkoztam. Ezek készítése során a járművek biztonságos közlekedését is figyelembe kell venni: a tengerfenék domborzata szabad szemmel nem megfigyelhető, ehhez különleges mérőeszközöket, pl. szonárokat használnak. A generalizálás során az izobátokat mindig „lefelé” kell eltolni, úgy hogy az olvashatóságot, a topológiai viszonyokat, valamint a fenékforma jellegzetes formáját megtartsuk (PETERS ET AL 2013). A navigációs célra

felhasználható térképek méretarány-tartománya elég korlátozott, alább feltüntettem a méretarány szerinti csoportosításukat (SZLATKI 2001):

1. A kikötőket ábrázoló részletes térképek (1:50 000 és nagyobb): kikötőket, horgonyzóhelyeket, szűk csatornákat ábrázolnak.
2. Részletes vagy parti térképek: 1:50 000–100 000: kisebb tengerrészeket, partszakaszokat, szigetcsoportokat tartalmaznak.
3. Részlettérképek (1:100 000–500 000): kisebb tengerrészeket, partszakaszokat, szigetcsoportokat mutatnak be, ahol a hajózás kívül esik a part menti részeken.
4. Útvonaltérképek (1:500–1 000 000): A nagyobb tengerrészeket kis részletességgel ábrázolják, útvonaltervezéshez használhatók.
5. Áttekintő térképek (1:1 000 000-tól): Útvonaltervezéshez; óceánokat, tengerrészeket ábrázolnak, pl. Ocean Plotting Sheets.

A navigációra használt, a Nemzetközi Hidrográfiai Szervezet (IHO) által kiadott 1:150 000 méretarányú térképek kótált pontokat és izobátokat tartalmaznak (mértékegység méter- vagy öljrendszerű), amelyeket rétegszínezés egészíthet ki (a partszegély zöld, a part menti vizek kékek, majd a további tengerfelszín fehér). A kótált mélységeket 21 méterig méterben és deciméterben, 21–31 m között, félméteres élességgel; efelett méterben adják meg. A tenger 0 m-es szintjét kétféleképpen határozták meg: apályveszélyes helyeken a valaha mért legkisebb vízszint, egyébként a középtengerszintet kell érteni ezen (SZLATKI 2001).

3.5 A generalizálás-vizsgálatok eredményeinek értékelése

Az egyes algoritmusok kimenő adatainak értékelése szempontjából legfontosabbnak a vizuális összehasonlítást tartom, vagyis azt, hogy mennyire hasonlít az eredmény ahhoz, mintha „kézzel” végeztük volna el a generalizálás folyamatát. Lehetséges ugyan matematikai-statisztikai módszerekkel mérni az eredményeket a kiindulási anyag és a végeredmény között, de ez ellentmondásokhoz vezethet (pl. kedvező vizuális „megjelenés”, de rosszabb statisztikai eredmény, és fordítva). További nehézség az algoritmusok különbözőségéből fakad. Az sem helyes, ha hasonló toleranciaérték megadásával hasonlítjuk össze az algoritmusokat, mert más-más lehet a toleranciaérték dimenziója pl. hosszúság vagy terület. Eldöntendő kérdés az is, hogy az eljárás értékelésénél az egyes objektumokra gyakorolt hatást vesszük figyelembe, vagy az objektumok közötti viszonyokat is. Az eredmények értékeléséhez feltétlenül szükségesek a szerkesztő morfológiai ismeretei.

Az egyszerűsítő és a simító algoritmusok értékelését Li is külön tárgyalja (LI 2007), ezt szintvonalak esetén nem tartom szükségesnek, mert nem az algoritmusokat, hanem az eredményüket kell elemezni, többnyire egymás után használva az egyszerűsítést és simítást. Az értékelési folyamatot és kritériumokat a következőképpen határoznám meg az automatizált generalizálásnál:

1. Vizuális értékelés: megőrizte-e az eredeti vonal karakterisztikáját? (A generalizálás minősége.)
2. A megadott paraméterekkel a célméretarányban használható eredményt kaptunk-e?
3. Keletkeztek-e önmetszések, összezárult vonalláncok, túl kicsi objektumok? Ha igen, milyen mértékben és van-e jellegzetes előfordulásuk (LI 2007)? (Programozással javíthatók?)
4. Keletkeznek-e metszések objektumok között? (Az algoritmus kiegészítése lehet szükséges.)
5. A vonal megváltozott futása miatt a generalizálást már korábban is megpróbálták számszerűsíteni. Stegena szerint egy szintvonal maximális helyzetváltozása a vízszintes irányú bizonytalanság minimumának kétszerese lehet, ettől csak úgy lehet eltérni, hogy az új izovonal minél jobban megőrizze a felszín formakincsét. A vízszintes bizonytalanságot a következőképpen definiálta Koppe:

$$m = \pm(k \cdot M + c \cdot ctg\alpha),$$

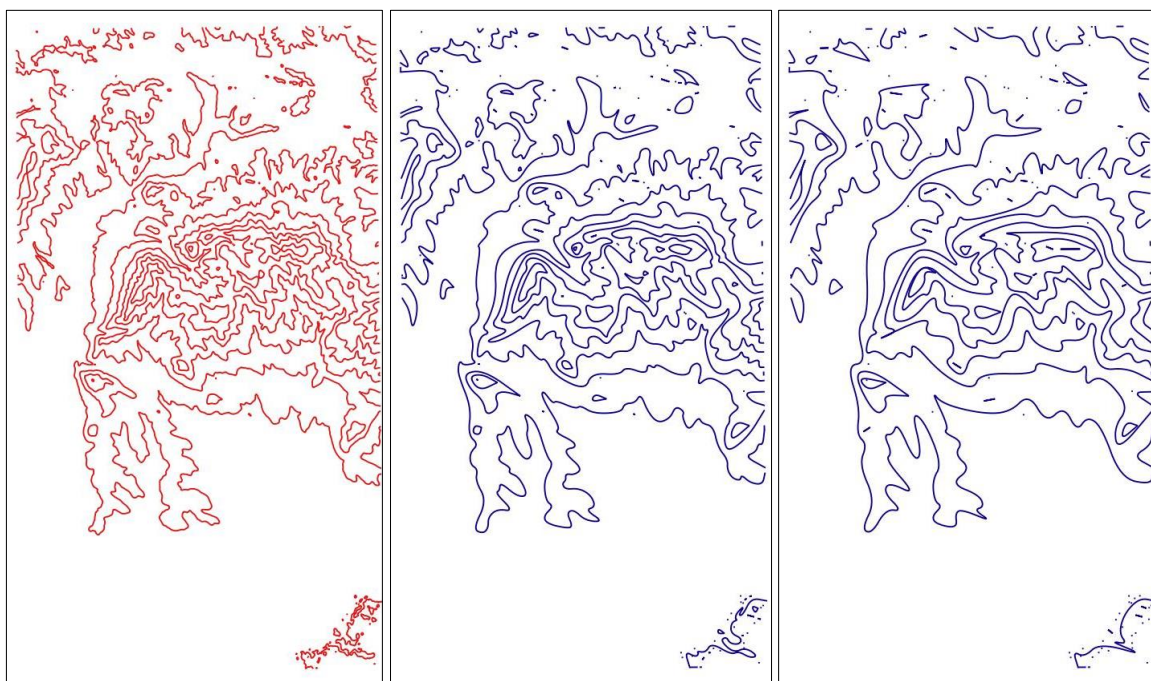
ahol az α a lejtőszög, $c=0,1$ m a magasságmeghatározási hiba és $k=0,0002$ m a helyzetkiolvasási hiba és M a méretarányszám. Vagyis pl. 1:50 000 térképen 1° -os lejtőszögnél kb. 15 méter, ennek kétszerese kb. 30 m, 45° -os lejtőnél ez 10 m és 20 m. (STEGENA 1970). Egyes térképtípusoknál nagyobb eltérés is megengedhető, pl. eltolható a szintvonal a szomszédos szintvonal fele távolságáig. Az automatizált generalizálás kiértékelése során megvizsgáltam, mennyire távolodik el az új vonal az eredetitől és mennyire helyes Koppe képlete.

6. Megnéztem, hogy keletkeztek-e új pontok, vagy csak csökkentettük az eredeti csomópontszámot? Véleményem szerint, a mérőszámok önmagukban nem adnak tájékoztatást az eredmény minőségéről, ennél sokkal fontosabb a vizuális kiértékelés.
7. Melyik szoftverben lévő algoritmust használtuk? Az algoritmus mennyire könnyen implementálható más szoftverekbe, mennyire gyors és hatékony?

8. Ha a mintaterületen létezik topográfiai térképszelvény, vagy atlasz, akkor a régi (kézi) és új (automatizálással készített) domborzatrajz összehasonlítása milyen eredményt hoz?

Az általam felállított kritériumok szerint végeztem egy próbaértékelést a Douglas–Peucker-algoritmussal való egyszerűsítésre, majd Chaikin-algoritmussal való simításra szintvonalakon.

Kiindulási állomány: Mátra 1:150 000, 100 méteres alapszintközzel.



3.2. ábra: Az első képen az eredeti állomány, a másodikon és a harmadikon a generalizált szintvonalak láthatók, az alábbi táblázat oszlopainak megfelelően, a könnyű összehasonlítás érdekében nem méretarányosan, vertikális generalizálás nélkül

| Méretarány | 1:400 000–600 000 | 1:700 000–900 000 |
|----------------------------------|---|--|
| Algoritmus (tolerancia) | Douglas–Peucker (0,0025°), Chaikin (3 ismétlés, 3 pont) | Douglas–Peucker (0,005°), Chaikin (3 ismétlés, 3 pont) |
| További használatra alkalmas-e? | Igen, de kisebb javítás szükséges. | Igen, de már több javítás szükséges. |
| Megőrizte-e a jellegzeteségeket? | Igen, jól. | Igen, de helyenként javítás szükséges. |
| Vonalak hibája | Túl kicsi objektumok, bezárult, vonalszerű görbék, csúcsban végződő görbék | Túl kicsi objektumok, bezárult, vonalszerű görbék, csúcsban végződő görbék, önmetszések. |
| Vonalak közötti viszonyok | Nem vizsgálta az algoritmus. A helyes vertikális generalizálás miatt nincs metszés. | Nem vizsgálta az algoritmus. Vertikális generalizálás szükséges. |

| | | |
|---|---|---|
| | | Néhány ponton metszés, érintkezés a szomszédos izovonalak között. |
| Algoritmus implementálása, (alkalmazott szoftver) | QGIS Generalizer. Könnyen implementálható, egyszerűen programozható. ArcGIS-ben Point remove és PAEK algoritmus kombinációjaként hasonló eredmény érhető el. | QGIS Generalizer. Könnyen implementálható, egyszerűen programozható. ArcGIS-ben Point remove és PAEK algoritmus kombinációjaként hasonló eredmény érhető el. |
| Mérőszámok | max. eltérés a pufferzónától 1 mm a térképen Csomópontok száma egyszerűsítéskor csökkent, majd görbeillesztéskor újra nőtt. | max. eltérés a pufferzónától 1 mm a térképen Csomópontok száma egyszerűsítéskor jelentősen csökkent, majd görbeillesztéskor újra nőtt. |

3.1. táblázat: A generalizálás értékelése

A generalizálás minőségét számokkal is kifejeztem (Koppe képlete alapján): a generalizált szintvonal köré létrehoztam egy 2-m szélességű pufferzónát az adott méretarányban. Megnéztem, hogy milyen hosszú szakaszok esnek a pufferzónán kívül, vagyis ez az eredeti vonalnak hány százalékát jelenti, van-e ezeknek a hibáknak szabályszerűsége. A pufferzóna szélességét nem változtattam a lejtőszöggel, mindenhol 1°-lejtőszög szerint számoltam, ugyanis Stegena szerint is kis mértékben el lehet térni a minimális m-től. Az 1:500 000 méretarányban az $m = 150$ méterrel 1°-os lejtőszögnél, 1:750 000-nél pedig $m = 225$ m. A Mátra tesztállományon a következő eredményt kaptam: 1: 500 000-esben az eredeti szintvonalak maximálisan kb. 500 méterre (a térképen kb. 1 mm) távolodtak el a pufferzóna szélétől, átlagosan 200–400 méterre, a szintvonalrajz felénél az eredeti vonalak teljes hosszának 20%-a lóg ki a pufferzónából. A szintvonalak 15%-ánál pedig az eredeti vonalak hosszának 40%-a lóg ki. 1: 750 000-esben az eredeti szintvonalak maximálisan kb. 650 méterre (a térképen kb. 1 mm) távolodtak el a pufferzóna szélétől, átlagosan 300–500 méterre, a szintvonalak kétharmadánál az eredeti vonalak teljes hosszának 20%-a lóg ki a pufferzónából. A szintvonalak harmadánál pedig az eredeti vonalak 40%-a lóg ki a pufferzónából. A kilógások jellemzően völgyfők, vagy hegygerincek „végei” ennél a generalizálási módszernél. A számunkra talán legfontosabb adat az átlagos, illetve a maximális eltérés a pufferzóna szélétől, és ennek térképi hossza. A fent leírtakból következik, hogy a megengedetten túl max. 1 mm volt a generalizált vonalak eltérése az eredetitől, amely véleményem szerint nem számottevő, ha a földfelszín formakincsét jól kifejezi és megőrzi a rajz, amely inkább a vizuális kiértékelés során dönthető el. Két másik generalizálási módszerre is végrehajtottam ezeket a számításokat, amelynek részleteit a

mellékletben közlöm. Ez a két másik eljárás a lineáris regresszió alapuló görbeillesztés, valamint a Li–Openshaw-féle raszteres-vektoros módszerű egyszerűsítés (M: III./19.). Az első esetben végeredményben görbéket kapok, amelyeknél a görbeívek javítására (csúcsok, önmetszések) lesz szükség. A második esetben törött vonalláncokat, amelyek azonban később egy simítási módszerrel akár görbévé is alakíthatók. Mindkét módszert érdemes szintvonalak generalizálására használni, ugyanis jól megőrzi jellegzetességeiket. Véleményem szerint ezzel a képlettel egyszerűen megvizsgálható a generalizálás eredményének minősége, a vizuális kiértékelés mellett segít számszerűsíteni a generalizálás helyességét.

A korábbi térképekkel való összevetés talán az értékelés egyik legnagyobb kihívást igénylő része, ugyanis, nem biztos, hogy a megadott méretarányban a megfelelő domborzatábrázolási módszerrel rendelkezésünkre állnak térképek. A térképeket az ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék Térképtárából válogattam. Igyekeztem a különböző kiadók termékeit összeszedni, ezáltal teljes körű képet nyújtani. Célom a 1:200 000 és 1:2 000 000 méretarányú térképek gyűjtése volt, amelyen szintvonalas és/vagy hipszometrikus domborzatábrázolás található. Ezáltal az egyik legnagyobb példányszámban megtalálható, méretarányban is megfelelő térképeket, az autóstérképeket nem használhatom, mert ezek általában csak summerolt domborzatábrázolást tartalmaznak. A turista és megyetérképek túl részletesek, méretarányban sem megfelelők. Az 1:750 000-es III. katonai felmérés átnézeti térképe (Übersichtskarte), vagy egyéb régebbi térképek csíkozós domborzatábrázolást tartalmaznak, ezek sem megfelelők (kivételt képez a 1:750 000-es I. világháború utáni, 1932–1942 között kiadott utánnymott, hipszometriára átdolgozott változata (de csak a 150, 300, 500, 1300, 2000 m-es szintvonalak vannak rajta (JANKÓ 1990)). Az atlaszok közül, amelyekben az említett módszer a leggyakrabban fordul elő, egyikét kivételtől eltekintve Magyarországot csak 1:1 100 000–2 500 000-ig ábrázolják. 1:200 000-es Gauss–Krüger-térképek megfelelő szelvényei és a JOG Air vagy Ground 1:250 000-es térképei alkalmasak a vizsgálathoz. Az 1:500 000-es méretarányban az ICAO (International Civil Aviation Organization) repülési térképein szerepelnek még szintvonalak rétegszínezéssel kiegészítve, de ezekhez nem jutottam hozzá. Az 1:300 000–1 000 000 méretarányú szintvonalas, vagy rétegszínezéses térképek nagyon kevés van, vagy egy kisebb méretarányú térkép nagyított, kevésbé részletes domborzatrajzát tartalmazzák (lásd Ábrajegyzék: Heves megye 2006). A korábbi térképekkel történő összevetés segíthet megállapítani a méretarányt, valamint a generalizálás helyességét. Az összevetés során

megállapítottam, hogy az általam a dolgozathoz generált szintvonalas (rétegszínezett) térképek részletesebbek, mint az atlaszok, ugyanakkor a topográfiai térképeknél kisebb méretarányban használhatók. A domborzatmodellekből – szemben a hagyományos domborzatrajz-készítési módszerekkel – a térkép méretarányának és céljának megfelelően egyszerűen készíthető domborzatábrázolás, az ismertetett a generalizálási módszerekkel.

Egy algoritmus tervezésénél vagy használatánál felmerül a kérdés, hogy meddig érdemes az algoritmus által produkált hibákat programozással javítani pl. önmetszés, bezáródott ívek, elemek közötti viszonyok vizsgálata, metszések javítása, szintvonalfésülés, formák felismerése. A generalizálási folyamat szubjektivitása miatt nagyon nehéz az algoritmust mindenre felkészíteni – csaknem lehetetlen. Sajnos, mint látszik teljes egészében nem automatizálható a generalizálás, szükség van utólagos javításokra, korrekciókra. Addig érdemes az algoritmust fejleszteni, amíg nem válik túl bonyolulttá, és a sok feltétel nem okoz ellentmondásokat, újabb hibákat. Emellett az egyes algoritmusok, csak egy meghatározott méretarány-tartományban használhatók jól: a tartomány felső határát az alapanyag minősége, a vertikális generalizálás mértéke, az egyszerűsítő és simító algoritmusok sorrendje, valamint a térképszerkesztő által vállalt kézi javítások mértéke is befolyásolja.

3.6 Domborzatmodellek egyszerűsítése

Az egyszerűsített domborzatmodellekből szintvonalak generálhatók, ezek már kevésbé részleteseek, mint a kiindulási domborzatmodellekből generált szintvonalak. A domborzatmodellek egyszerűsítését képszűrési módszerekkel oldottam meg (ELEK 2004-A, ELEK 2004-B). Többféle szűrési módszert próbáltam ki: a konvolúciós szűrők közül a box szűrőt, a nem lineáris szűrők közül pedig egy rang szűrőt: a medián szűrőt.

A képszűrés a következőképpen dolgozik: a képet egy $n \times m$ -es mátrixként definiáljunk. Vesszünk egy $(2 \cdot k + 1) \cdot (2 \cdot k + 1)$ méretű kernelmátrixot, amelyet a kép bal felső sarkába helyezünk (k természetes szám). A kép kernelmátrix alá eső értékeit konvolváljuk a kernelablak megfelelő pixelével, majd a középső pixel értékét eltároljuk, egy új, $n \times m$ -es mátrixban, majd egy oszloppal balra csúsztatjuk a kernelmátrixot és kiszámítjuk a következő pixel értékét. A sor végén a következő sorban folytatjuk. Ezt a folyamatot iteráljuk mindaddig, míg a kép összes pixelét fel nem dolgoztuk (ELEK 2006). A domborzatmodellek szűrésénél általában a felbontásuk is csökken, ekkor a kernelmátrix mérete lesz a szűrt modell felbontása.

Kétféle szűrési módszert próbáltam ki, de lényeges eltérést nem találtam közöttük. A konvolúciós szűrők közül a box szűrőben a kernelmátrix összes értéke azonos, vagyis egy. Így tulajdonképpen a kép kernelmátrix alá eső értékeiből számít átlagot. A nem lineáris szűrők közül a rang szűrők esetében a kernelmátrix alá eső értékeket sorba állítjuk, és ez alapján választunk új intenzitásértéket a pixelnek. A medián szűrő esetén ez a mátrix mediánja (ELEK 2011). Más, simító hatású szűrők bonyolultabbak, és gyakorlati tapasztalataim alapján kevésbé alkalmasak domborzatmodellek simítására, pl. a Global Mapper box minimum és box maximum szűrői (a kernel legkisebb és legnagyobb értékeit teszi meg új pixelértéknek).

Domborzatmodellek esetén a legjobbnak, és legegyszerűbben használhatónak a box és a mediánszűrőt találtam. Mindkét módszer hatását egy satuhoz hasonlítanám: a magasabb térszínek alacsonyodnak, a mélyebben fekvők emelkednek. A legdrasztikusabb változások a szűk völgyekben, szorosoknál és vékony gerinceknél történnek.

A Global Mapper 13-as verziójától kezdve többféle szűrési módszer is található a szoftverben: a kernelmátrix átlaga lesz az új pixel értéke (box average), a legkisebb, vagy legnagyobb értékkel helyettesíti a középső pixelt (box minimum, box maximum). Elkészítettem Python programnyelven a GDAL modul segítségével egy programot, amellyel más szűrőket is kipróbáltam, az ide tartozó programkód a M: II./9. mellékletben olvasható. A szűrés során a kernelmátrix méretének változtatásával is próbálkoztam, megnéztem a 3×3, 5×5, 7×7 és 9×9 méretű kernelek hatásait. Ezen kívül kipróbáltam a már szűrt kép megismételt szűrését is. A szűrt domborzatmodell felbontása $F_{új}$ a következőképpen számítható:

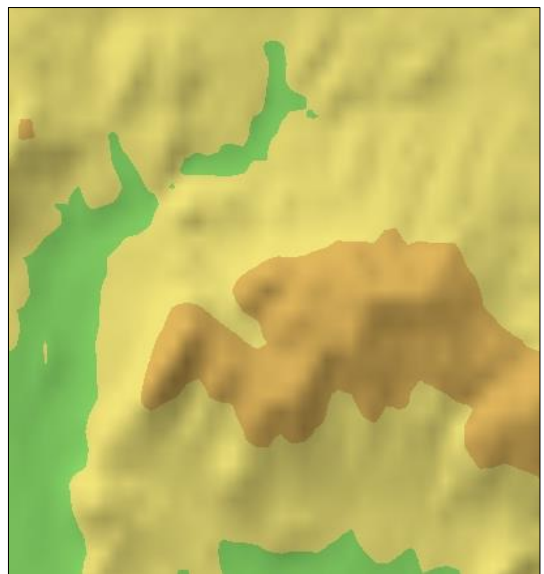
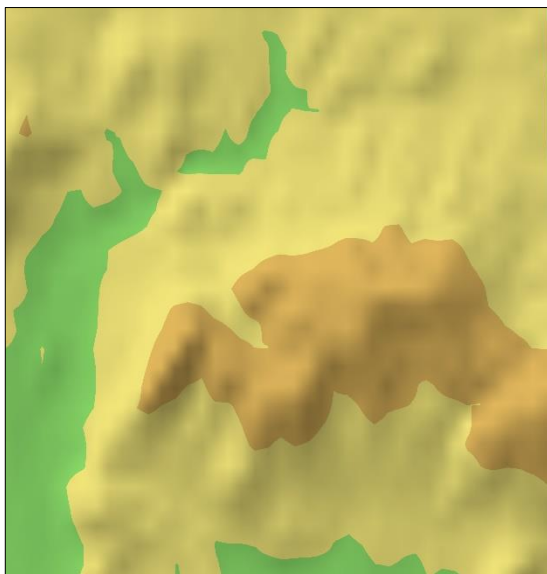
$$F_{új} = F_e \cdot m_k,$$

ahol F_e az eredeti domborzatmodell felbontása, m_k pedig a négyzet alakú kernelmátrix egyik oldalának hossza ($2 \cdot k + 1$). Így a 9×9-es mátrixszal szűrt, eredetileg 3'' felbontású SRTM új felbontása 27'', ez a felbontás kis különbsége miatt részletességében kb. megegyezik a SRTM30-as modellel (például az 1''-es felbontású SRTM-ből a 3''-eset és abból a 30''-eset hasonló módszerrel készítették). A 3.3 ábrán megfigyelhető, hogy a Zagyva völgye meglehetősen szűkké válik Mátraverebély és Tar között, a szűrés hatására és a szintvonalköz választása miatt összeolvad a Mátra és a Cserhát (V. melléklet: részletes térkép domborzati és településtérkép a Mátráról, többféle méretarányban). Az 3.4. ábra az eredeti 3''-es SRTM és az általam létrehozott, 27''-es felbontású modell közötti

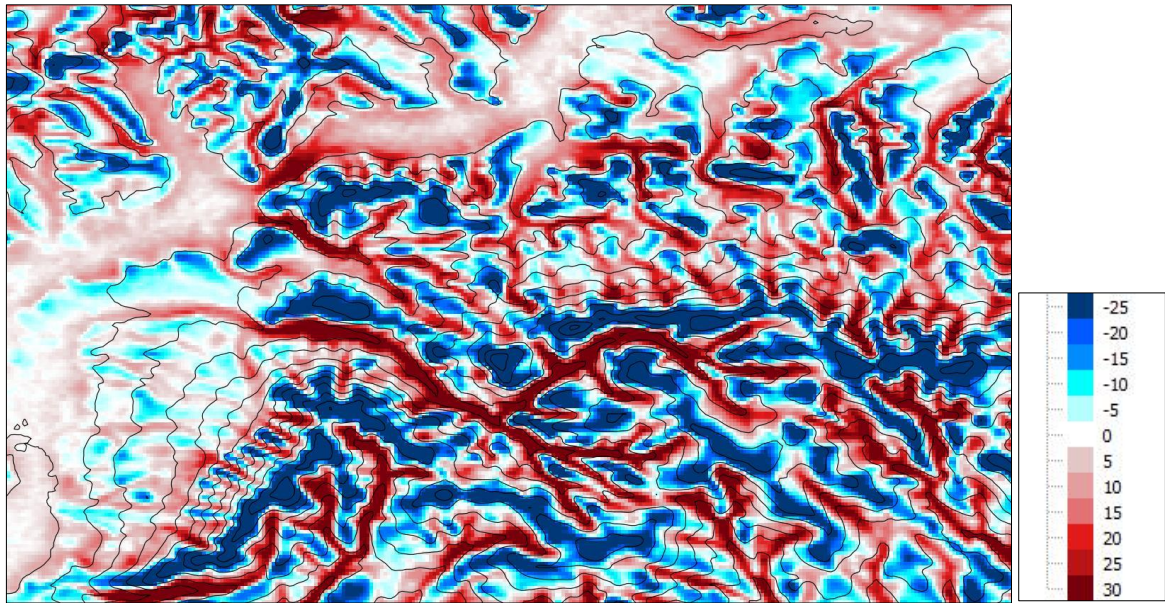
magasságkülönbségeket mutatja. A generalizálás feladata, hogy a felszín legfontosabb részeit emelje ki, ezáltal egyes területeken mindenképpen bekövetkeznek magasságváltozások. A legnagyobb probléma ezzel a módszerrel, hogy éppen a karakterisztikus információkat csökkenti, pl. szűkebb, jellegzetes völgyek, hosszú, vékony gerincek.

Ha az ETOPO1 globális modellt vizsgálom, akkor a Csomolungma magassága nem jut érvényre, a modell legmagasabb pontja 6670 m (ETOP01 ICE_c és ETOPO1 Bed_c), holott a Csomolungma (Mount Everest) 8848 m magas. Ugyanakkor tudatában kell lennünk, hogy ez 1'×1'-es területet magassági átlaga. Ilyenkor kiegészítésként a kótákat kellene használni.

Megjegyzendő, hogy a tengerfenék-domborzat ábrázolása esetén a vonalas és felületi vízrajzi elemeket nem kell figyelembe venni, ugyanis itt nincsenek (a tengerszintet csak a partvonallal ábrázoljuk). Ennek ellenére itt sem elfogadhatók a szűrés hatására fellépő magasságtorzulások.

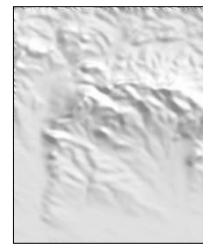
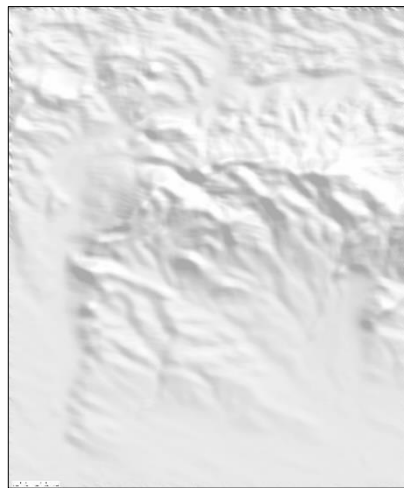
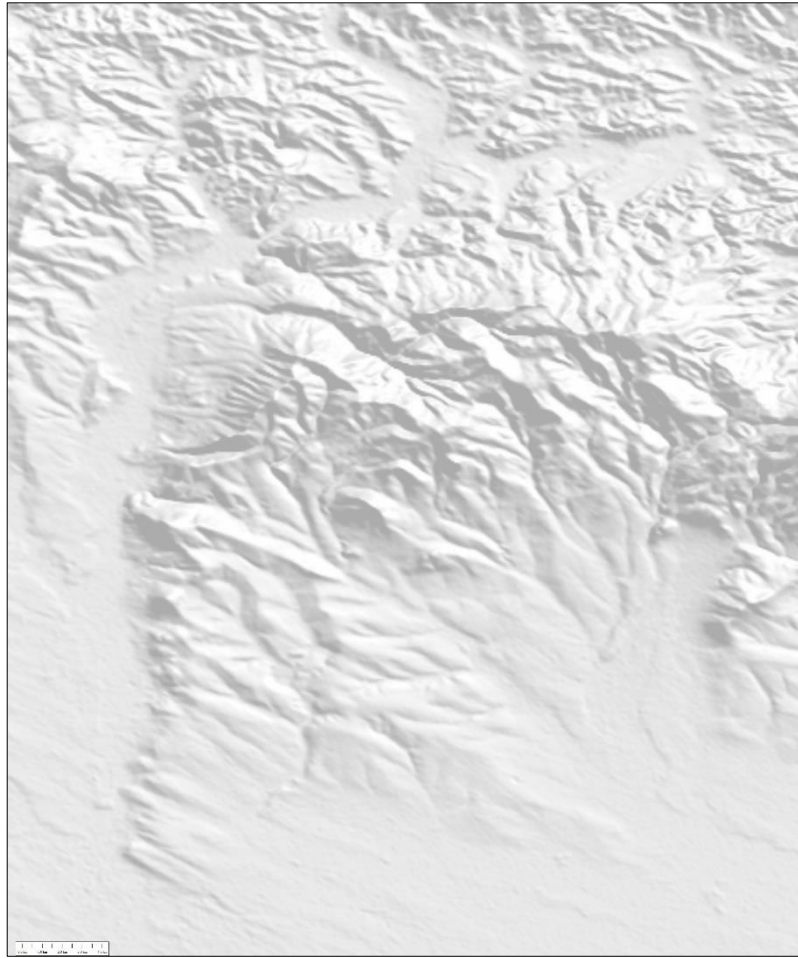


3.3. ábra: Az eredeti 3''-es SRTM 90, a 30''-es SRTM30, és a box átlag szűrővel készített 27''-es SRTM. A mintaterület a Mátra. (A képek nem méretarányosan jelennek meg.) A sárga ellipszis a Mátra és a Cserhát összeolvadásának helyét jelöli



3.4. ábra: Magasságváltozások képszűrés hatására a Mátra területén. A képen vörös színnel jelennek meg a magasodó, kék színnel az alacsonyodó területek, minél erősebb a szín, annál nagyobb mértékű a változás (lásd a színskálát). A fekete színű szintvonalrajzot a 3''-es SRTM-ből generáltam, 50 méterenként

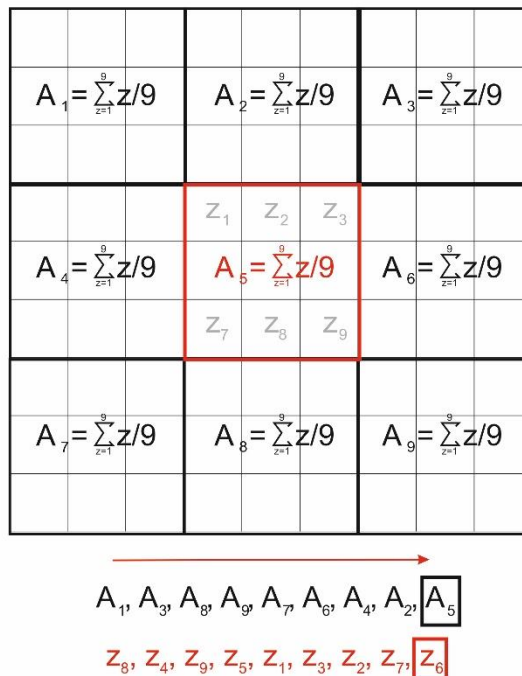
A simított domborzatmodellhez térinformatikai szoftverekben domborzatárnyékolás készíthető, ez fájlba exportálható és felhasználható például grafikus szoftverekben történő térképszerkesztés során is. A 3.5. ábra mutatja különböző méretarányokban használható szintörléses ábrázolást, amelyek méretaránya a domborzatmodell optimális méretarányából következik.



3.5. ábra: Domborzatárnyékolás különböző méretarányú térképeknél: 1:250 000, 1:500 000 és 1:1 000 000

3.7 Domborzatmodellek generalizálása módosított képszűréssel

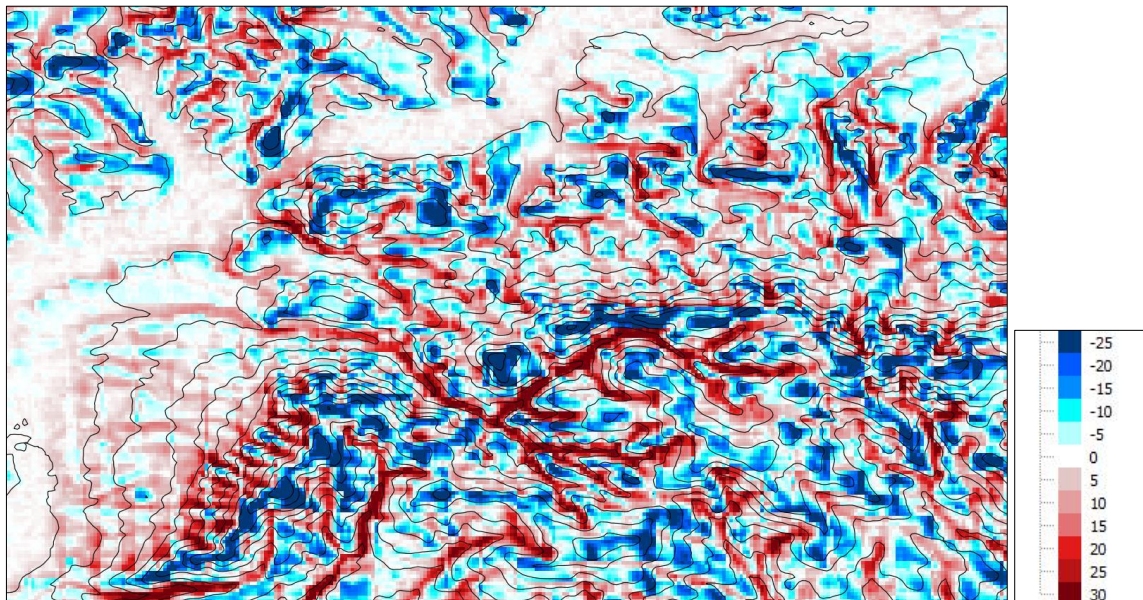
Az előbbi fejezetben feltártam a hagyományos képszűréssel egyszerűsített domborzatmodellek hibáit. Azért, hogy csökkentsem őket, kidolgoztam egy módszert, hogyan lehetne jobban megőrizni a jellegzetes pontokat, illetve völgy- és gerincvonalakat. A képszűréshez hasonlóan itt is mozgó kernelablakot alkalmaztam. A négyzet alakú kernel egyszerre 81 pixelt vizsgál, vagyis kilenc darab, 3×3 -as blokkot képez. A vizsgálat után a középső 3×3 -as blokknak számítok ki új pixelértéket, vagyis a felbontás a háromszorosára nő. Először kiszámítom az összes blokkban az átlagmagasságokat, majd emelkedő sorrendbe rendezem őket. Megnézem, hogy hányadik helyet foglalja el a listában a középső blokk. Ugyanígy emelkedő sorrendbe rendezem a középső blokk pixeleit is. Ezek közül kiválasztom azt, amelynek sorrendben elfoglalt helye megegyezik a középső blokk listában elfoglalt helyével. Ezáltal ha a középső blokkban egy fontos csúcs található, akkor a kernel többi blokkjánál nagyobb lesz az átlagmagassága, vagyis emelkedő sorrend esetén a lista utolsó helyére került. A középső blokk pixelei közül pedig a legnagyobb pixelértéket kell kiválasztani, így megőrizhetem a csúcs eredeti magasságát. A depressziók megőrzése ellentétesen működik, a lejtők pedig belesimulnak környezetükbe (3.6. ábra és M: II./10.).



3.6. ábra: A mozgó kernelablak a legmagasabb pont kiválasztását szemlélteti. Először kiszámolja a 3×3 -as blokkok átlagmagasságát (A_x), majd emelkedő sorrendbe rendezi őket. A középső blokkok pixeleit is rendezi (z_x), és kiválasztja azt, amelyik sorrendben megegyezik az A_5 helyével

A módszerrel generalizálás például úgy lehetséges, ha egymás után többször lefuttatjuk az algoritmust. Az SRTM 3"-at kiindulásként használva a felbontások a következőképpen alakulnak az egyes lefutások után: 9", 27", 1'21" stb. Az algoritmus okozta magasságváltozásokat a 3.7. ábrán szemléltetem. Megfigyelhető, hogy a változások jelen vannak, de kevésbé markánsak, kisebb területre alacsonyabb mértékben terjednek ki, mint az előző esetben: például a már említett ponton a Zagyva völgye nem záródik be.

További javítások a vízrajzi elemek figyelembevételével lehetségesek (lásd részletesebben a 3.10. fejezetben). Egyébként ezzel a módszerrel a generalizálás mértéke csökkenthető vagy növelhető úgy, hogy a 3×3-as blokkok helyett kisebb 2×2, illetve nagyobb, 4×4-es vagy 5×5-ös méretű blokkokat használunk. Ezzel el lehet érni más felbontásokat is, például a SRTM 3"-ból 4×4-es blokkmérettel 12", 48" és 3' 12".



3.7. ábra: Magasságváltozások a módosított képszűrés hatására a Mátra területén. A képen vörös színnel jelennek meg a magasodó, kék színnel az alacsonyodó területek, minél erősebb a szín, annál nagyobb mértékű a változás (lásd a színskálát). A fekete színű szintvonalrajzot a 3"-es SRTM-ből generáltam, 50 méterenként

3.8 A célméretaránynál kisebb felbontású domborzatmodellek esztétikus képet adó felhasználása

Előfordulhat, hogy egy adott területről nem áll rendelkezésünkre elég nagy felbontású domborzatmodell, ezért rászorulunk egy kisebb felbontású használatára. Ekkor tulajdonképpen kétféle méretarányról beszélhetünk: a térképéről, amely nagyobb lesz, mint az optimális adatsűrűség a célméretarányban. Az összehasonlítást a domborzatmodellekből nyerhető izovonalakkal (és/vagy rétegszínezés) végeztem el. Ez a térképeken jobban

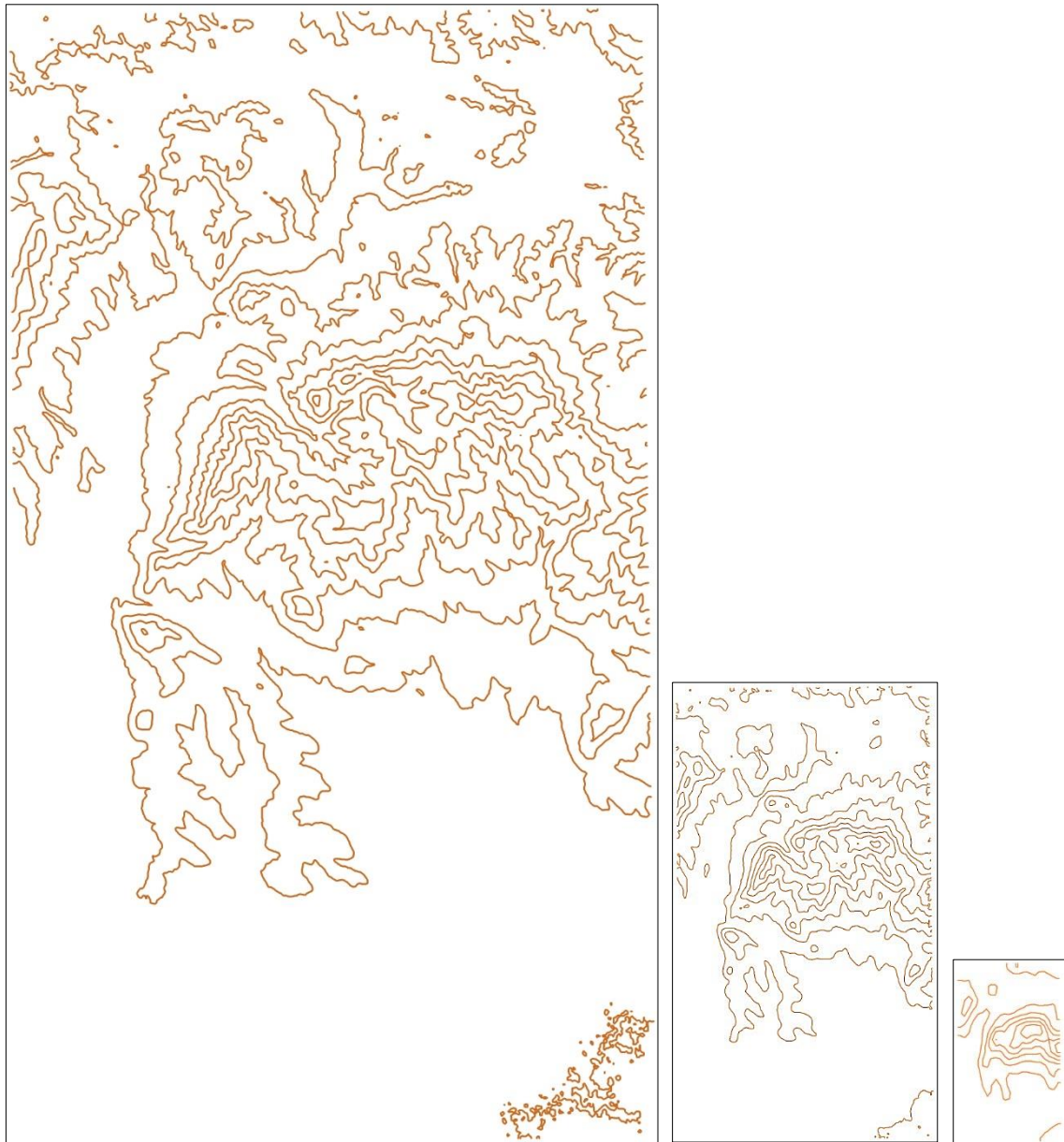
mérhető, illetve szemléletesebb, mintha domborzatmodelleket vetnénk össze, valamint a gyakorlatban a domborzatmodelleket úgyis szintvonalas ábrázolás céljára használjuk. Ha nem megfelelő a modell felbontása, a belőle generált izovonalak túl szögletesek lesznek, valamint a csomópontok is sűrítésre szorulnak. Ezt a problémát kétféle megoldással is megpróbáltam orvosolni: az első „kétdimenziós” megoldás a simítás (Bézier-görbékkel és Chaikin-algoritmussal is próbálkoztam), a második, a háromdimenziós (3D) megoldás során a felületet simítottam. Ezt a 3D grafikában is használatos, Catmull–Clark módszerrel értem el (CATMULL–CLARK 1978, SZIRMAY-KALOS 2003). A kiindulási állománynak az SRTM 90-et választottam, a célom az 1”-es SRTM-mel megegyező felbontású modell készítése volt. Ezután összehasonlítottam a fentiekben leírt első és második módszerrel létrejött szintvonalakat az 1”-es SRTM-ből generálttal. A Catmull–Clark-féle simítást Nagy Gábor Pythonban írt programjával végeztem el (NAGY 2014). Az eredmények a várakozásaim szerint alakultak: az SRTM 1”-es felbontású felszínmodell és az abból nyert szintvonalak a legrészletesebbek. A 90 m-es SRTM-ből Catmull–Clark-módszerrel interpolált, új 30 m-es felbontású modell keletkezett, amelyből kevésbé szögletes, simított felszín és szintvonalak érhetőek el, ezzel a tényleges információ-mennyiség ugyan nem nő, ugyanakkor a grafikai megjelenítés nagyobb méretarányban is szebb lesz, vagyis a felhasználhatósági tartomány alsó határát „lefelé” tolja. Ezzel akár a 1:100 000 térkép is készíthető (3.8. ábra). A 2.4.3-as fejezetben ismertetett eltérő felbontású domborzatmodellek kombinálásánál – ha nem túl nagy a méretarány-különbség – akár ez a módszer is alkalmazható a kisebb adatsűrűségű területen.



3.8. ábra: Fent balra vörössel az SRTM (1''), kékkel a SRTM 90 (3'') adatsűrűségének összehasonlítása látható, jobbra kékkel továbbra is az SRTM 90, zölddel pedig a Catmull–Clark algoritmussal simított modellből nyert szintvonalak láthatók. Az alsó képen zölddel a Catmull–Clark-algoritmussal simított felületből, rózsaszínnel a Chaikin-algoritmussal simított SRTM 90-ből nyert szintvonalak láthatók

3. 9 Az egyszerűsített domborzatmodellből nyert szintvonalak a gyakorlatban: összevetés a vonalgeneralizálással

Az egyszerűsített domborzatmodellből generált szintvonalak a képszűrés utáni magasságokat tartalmazzák. A szintvonalakat összehasonlítottam egy hagyományos térképpel és a részletes domborzatmodellből létrehozott, majd vonalegyszerűsítéssel és simítással generalizált szintvonalakkal, így próbáltam összevetni a két modern módszer hatékonyságát, feltárni hibáit. Az 3.9. ábra méretarányosan hasonlít össze domborzatmodellből nyert szintvonalakat, az M: III./16. melléklet pedig egyenlő méretben veti össze a vonalegyszerűsítéssel generalizált szintvonalakat.



3.9. ábra: Szintvonalak az eredeti részletességgel (1:150 000), de 1: 300 000 méretarányban, valamint az egyszerűsített domborzatmodellekből generált vonalak 1:750 000 és 1:2 000 000 méretarányban

A módszerek összehasonlítása után az alábbi megállapítások tehetők:

- Domborzatmodelleknél a felbontás kifejezi, hogy egy pixel mekkora területet fed le, ennek a területnek általában az átlagos, vagy a jellegzetes magasságát jelzi. Minél kisebb a felbontás, annál inkább nő a lefedett terület, ezáltal egyre nehezebb „megválasztani” a pixel értékét. Ily módon eltűnhetnek a fontosabb hegycsúcsok. A fontosabb csúcsok ugyanígy eltűnhetnek a vonalgeneralizálás során is: algoritmustól függően túl kevés csomópontból állnak (ezért törli őket), vagy

bezárulhatnak stb. Az előbbinél megoldás lehet a kiindulási szintvonalrajz attribútum-táblázatában felvett „megtartandó” jelzés.

- A domborzatmodelleknél nemcsak a hegycsúcsok, hanem egyéb formák pl. szűk völgyek válhatnak külön (ha az egyszerűsítésnél nem vesszük figyelembe a vízrajzot), ezzel szemben a vonalgeneralizálásnál ezeket megtartjuk.
- A vonalgeneralizálás során a legtöbb algoritmus csak szűkebb méretaránytartományban ad használható eredményt.
- Bármely módszerrel nyertük is a szint-, vagy mélységvonalrajzot, a tökéletes eredmény elérése érdekében emberi beavatkozás válhat szükségessé: ez annál inkább jellemző, minél nagyobb a különbség a kiindulási és célméretarány között.
- Az utólagos, kézi korrekciónál a domborzatmodellek módosítása nehezebb, szemben a vonalláncokkal. Azonban a domborzatmodellek egyszerűsítése után könnyebben készíthető rétegszínezéses, izovonalas és árnyékolásos ábrázolás.
- A generalizálási módszer kiválasztásakor figyelembe kell vennünk a kiindulási adatsor típusát (vonalláncok vagy domborzatmodellek állnak rendelkezésünkre). Vonalláncokból is készíthető domborzatmodell (pl. PADÁNYI-GULYÁS 2013), de ez igen munkaigényes, ilyenkor érdemes inkább vonalgeneralizálást alkalmazni.
- A legnehezebb a helyzet akkor, ha részletes alapanyagból akarunk nagyobb országok, régiók térképét, vagy kontinenstérképet készíteni. Nemcsak a nagy méretarány-különbség, hanem a terület morfológiai diverzitása miatt is meg kell fontolnunk az algoritmus választást. A következő fejezetben látni fogjuk, hogy egyes felszín típusok jellegzetességeinek megőrzésében erősen szerepet játszhat a választott algoritmus. Ezekben az esetekben célszerű először kisebb felbontású domborzatmodellt készíteni, amelyen még megfigyelhetők a morfológiai jellegzetességek, ezután a vonalgeneralizálással tovább egyszerűsíthetők az izovonalak.
- Célszerű összevetni az eredményeket meglévő térképekkel, hogy a generalizálás után a domborzatrajz mennyire jól fejezi ki a terület morfológiai sajátosságait. Ezt a 3.5 fejezetben ismertetett módon végezhető el, a generalizálás minőségének kiértékelésénél a 3.9 fejezetben is alkalmaztam, helyenként ábrával is illusztráltam.
- *Felmerül a kérdés, hogy mégis melyik módszert válasszuk? Az előző pontokban már felsoroltam néhány szempontot pl. kiindulási alapanyag fajtája és minősége, valamint felhasználhatósága (szerzői jogi vonatkozások); a két méretarány közötti*

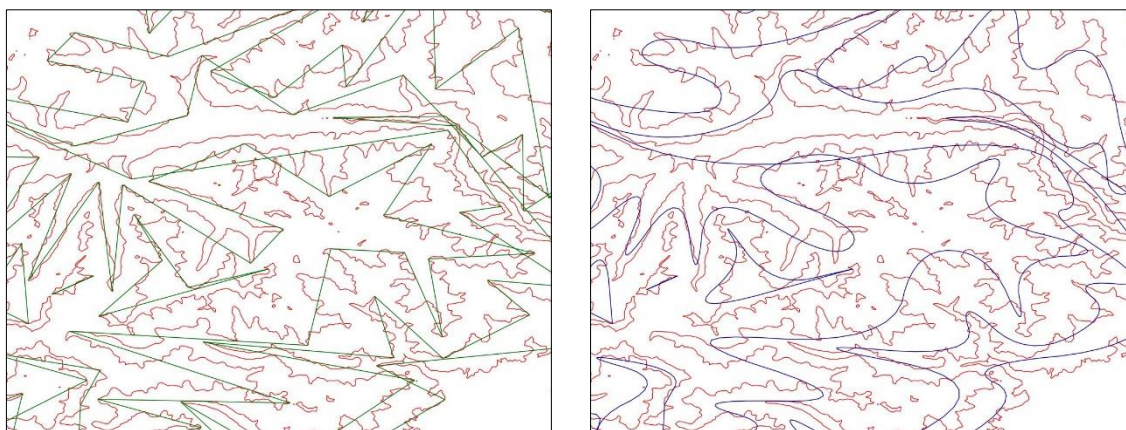
különbség; az ábrázolás típusa. Emellett érdemes megfontolni, hogy mennyi munkát tudunk befektetni utólagos korrekcióba; melyik algoritmus vagy szoftver áll rendelkezésünkre; nyomtatásra vagy webes megjelenítéshez készítjük-e a térképet, milyen morfológia adottságokkal rendelkező területet szeretnénk ábrázolni. Azt is fontolóra kell vennünk, hogy érdemes-e automatizált generalizálással kísérleteznünk, vagy jobban járunk-e anélkül (Például izovonalas adatokat tartalmazó „spagetti” adatbázis esetén).

3.10 A domborzat morfológiai jellemzőinek megőrzése az automatizált generalizálás során

A szárazföldi felszín és a tengerfenék formakincseinek leírásával és ábrázolásával több munka is foglalkozott, például nagyméretarányú térképeken az EOTR szabályzat nyújt útmutatást a generalizáláshoz (T.5. 1981), vagy a hetvenes években németországi területekről a Westermann kiadó által publikált, 1:25 000 térképekhez készült topográfiai térképpróbákon elemzik az egyes területek morfológiai jellemzőit, és ezek szintvonalas ábrázolásának módszerét (HOFFMANN–LOUIS 1974). A tengerfenék-domborzat ábrázolásának jellemzőit Márton Mátyás tárta fel (MÁRTON 2010). Dolgozatom keretében azt vizsgáltam, hogyan őrizhető meg az izovonalak területre jellemző arculata az automatizált generalizálás során, különféle (jellemzően kis) méretarány-tartományokban (Nagy méretarányban a topográfiai térképek generalizálása erősebben szabályokhoz kötött (pl. T.2. 1981), kisebb mértékben befolyásolhatják a szerkesztő földrajzi ismeretei).

A teljesség igénye nélkül kiválasztottam azokat a jellegzetes formákat, amelyeket kisméretarányú térképeken ábrázolni kell, és az ábrázolás helyes kivitelezése különösen igényli a térképész morfológiai-tektonikai ismereteit. Ezeket kétféle módszerrel vizsgáltam: vonalgeneralizálással (a részletes modellből generált szintvonalak generalizálásával) és a domborzatmodell többszöri egyszerűsítése után nyert szintvonalak vizsgálatával. A generalizált domborzatrajz kiértékeléséhez, hasonlóan a 3.5 fejezethez itt is felhasználtam atlaszokat, térképeket. A vizsgált méretarány-tartományok a formák méretétől függően követik az atlaszlapok vagy térképek jellemző méretarányait (lehetőleg legyen elérhető, jó minőségű, többféle méretarányú térkép). Az automatizált generalizálás módszerei közül a képszűrést, a módosított képszűrést (helyenként vízrajzi korrekció nélkül alkalmaztam), a vonalgeneralizálásnál a mátrai mintaterületen is bevált algoritmusokat használtam (DP és Chaikin, lineáris regresszió, Li módszere Chaikin-féle algoritmussal simítva).

A szárazföldi formák közül elsőként a magashegységek szintvonalas ábrázolását vizsgáltam. A magashegységek gyűrődéssel keletkeztek, tengerszint feletti magasságuk miatt elsődlegesen a jég alakította tovább formakincsüket. Így a jellemző, kis méretarányban is megjelenítendő morfológiai elemek a nagyobb U alakú gleccservölgyek, tengerszemek, hágók, a hegylábaknál található törmelék-, vagy hordalékkúpok (BORSY ET AL 1998). A fontosabb szűk völgyeket és hágókat mindenképpen meg kell őrizni (pl. ahol fontosabb folyó, vasút vagy út fut). Generalizálási vizsgálataimat az Alpok példáján végeztem el SRTM 90 modellből kiindulva, de összevettem az SRTM 30-at és az ETOPO1-et is. A domborzatmodellek képszűrési (hagyományos vagy akár módosított) egyszerűsítésével nyert tapasztalataim itt is érvényesek, hasonlóan a mátrai mintaterülethez. Minél kisebb méretarányú térképet hozunk létre, annál nagyobb az egy pixel által lefedett terület. Ezáltal a legmagasabb csúcsok beleolvadhatnak környezetükbe, ha kisebb felbontású domborzatmodellből hozzuk létre a szintvonalakat. Erre lehet megoldás a nagyobb felbontású domborzatmodellből generált szintvonalak automatizált generalizálása. Ebben az esetben a szintköz többségében változó, csak azokat a szintvonalakat generáljuk le, amelyeket a célméretarányban meg fogunk jeleníteni. A módosított képszűrés vízrajzzal való kombinálása során itt is jobban megőrződtek a hosszú völgyek, csökkent a bezáródott völgyek száma. Vonalgeneralizálási módszerek közül a DP-algoritmussal minél nagyobb a paraméter, annál inkább háromszög alakúvá válnak a völgyek, ezáltal elvesztik jellegzetes, helyenként szerteágazó szerkezetüket (3.10. ábra). A vonalra illesztett görbék pedig sok helyen átmetszik egymást, ezáltal ugyan használható ez az algoritmus, de korlátozottabb méretarány-tartományban. A lineáris regressziós módszerrel szebb eredményt sikerült elérnem, jócskán megnyújtható a tartomány felső határa. A Li-féle egyszerűsítés azonban ezen a területen kevésbé hatékony, nehéz megőrizni a szűk völgyeket, az egymáshoz közel fekvő szintvonalak könnyen elveszítik párhuzamos jellegüket egyszerűsítés hatására. Ha a térképen a szintvonalas ábrázolást választunk sok helyen meg kell szakítanunk, az egymáshoz túl közel kerülő vonalak miatt. Ha kiegészítjük színfokozatos ábrázolással is, hasonlóan járunk el, de a színelületek sorozatát mindenképpen ábrázolnunk kell, a szintvonalakat helyenként megszakítjuk. Ezeket a megoldásokat kézi utómunkával vagy akár programozással is elvégezhetjük.



3.10. ábra: DP-algoritmussal egyszerűsített, majd simított domborzatrajz jellegzetességei nem megfelelő paraméter választásakor

A fjordok létrejötte a belföldi jégtaaró munkájának eredménye: a partszakaszon sűrűn ismétlődő keskeny öblök, helyenként szigetek jellemzik. Az öblök partfala általában meredek: akár több 100 méteres magasságkülönbségek is előfordulhatnak. A fjordok nem záródhatnak be, a szigetek sem érintkezhetnek a partvonallal. A partvonal tagoltságát a nagyobb fjordok megtartásával és méreten felüli ábrázolásával lehet elérni (BORSY ET AL 1998). A fjordoknál a nehézséget nemcsak a tagoltság jellegének megtartása okozza, hanem a meredek partfalak is (kis távolságon belül akár 1000 m-es magasságkülönbség is előfordul). A domborzatmodellek egyszerűsítésénél az előny az lehet, hogy a különféle részletességű képek egyikén sem keresztezik egymást a szintvonalak, de hamar bezáródhatnak a szűk fjordok. Például az ETOPO1-nél helyenként megfigyelhető, hogy a fjordokból „tavak” képződtek. A módosított képszűréssel 1'30" felbontásban jobb eredményt értem el, mint a box szűrővel, de 4,5'-es felbontásban viszont a box szűrő eredménye volt jobb. A fjordokat ábrázoló szintvonalak képe nagyon hasonlít a magashegységekhez, bár vannak tengerszint közeli területek is. A DP-algoritmus itt kevésbé volt sikeres, továbbá a lineáris regresszióval és a Li-féle egyszerűsítéssel is megegyeztek a tapasztalataim a magashegységi területen végzett generalizálással.

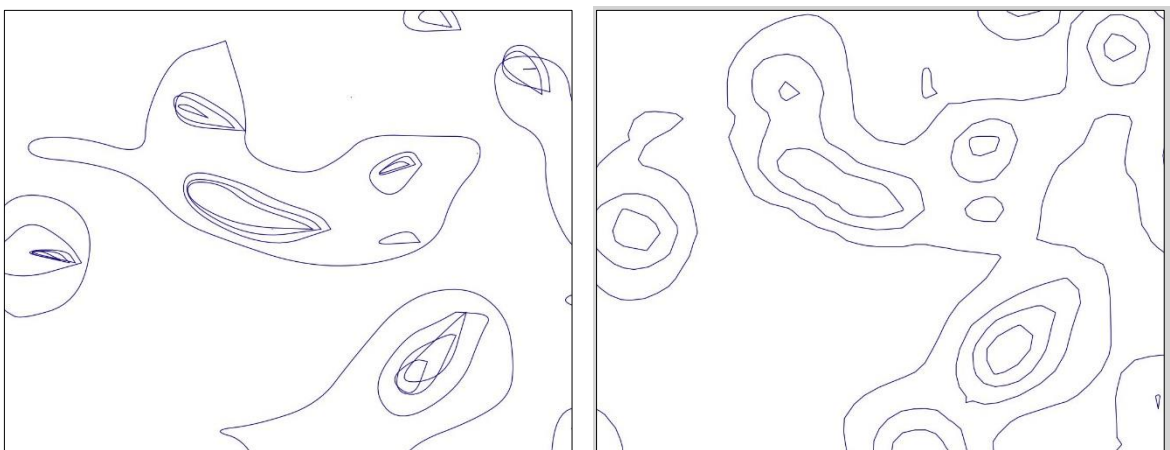
A dombsági területeken a sűrűn ismétlődő gerinc- és völgyformák kiválasztása, vagyis a szabdalt felszín bemutatása jelenti a nehézséget. Ezek közül ki kell emelni a legfontosabb völgyeket és dombhátaakat, figyelembe véve a vízrajzi (és térképtípustól függően az egyéb pl. vasutak, főutak) elemeket. Mintaterületnek a Dél-Dunántúlt választottam, a felhasznált modellek megegyeznek az előzővel. Itt például Külső-Somogy jellegzetes, É-D-i irányú völgyeit; Belső-Somogy dombjait; a Mecsek északi lankáin túl a Zselic, a Völgyseg és a Hegyhát enyhén lankás vidékét, valamint a Zalai-dombságot kell megőrizni. A

domborzatmodell képszűrési egyszerűsítése során a legnagyobb „veszélyt” a fellépő magasságváltozások jelentik, amelyek miatt kisebb méretarányban a Mecsek pl. dombsággá alacsonyodik, valamint pl. a Külső-Somogy Balatonra merőleges lankái összeolvadhatnak egy kúppá. Ez a részletesebb alapanyagból generált szintvonalak vonalgeneralizálásával elkerülhető. A DP-algoritmussal a felhasználhatóság méretarány-tartománya jóval korlátozottabb, mint pl. a lineáris regresszióval és Li módszerével, előbbivel jól bemutatható a dombságok szerkezete.

A tóvidékek vagy tóhátságok a belföldi jégtakaró által létrehozott tájak, amelyek a jég munkájának hála főként sík területek apró dombokkal, ahol rengeteg kisebb tó és vízfolyás található. Ez főleg a vízrajzi elemek generalizálását jelenti (pl. összevonás, nagyobbítás és elhagyás – automatizáltan végrehajtható lehet pl. az ArcGIS-ben). Nem szabad figyelmen kívül hagyni a domborzat generalizálását sem. Mintaterületként a Finn-tóvidéket választottam, amelynek déli részén az átlagos magasság 80–100 méter körüli, északabbra ez 150–300 méterre változik (BORSY ET AL 1998). A generalizálás során, ha kis méretarányú térképen a 100 és 200 m-es szintvonalakat ábrázolom, akkor ezek szépen kirajzolják a nagyobb völgyeket, amelyekben egy-egy fontosabb tó található. Érdekességként megjegyezném, hogy a Kartográfiai Vállalat 1955-ös iskolai atlaszában 1:20 000 000 méretarányban Európa és a Szovjetunió térképén is szerepel a terület (az utóbbinál hiányzik a 100 m szintvonal), azonban a térképek tervezői Kéz Andor, valamint Bognár Gábor és Takács József kissé eltérően generalizálták a domborzatot. Kéz Andor munkája sokkal jobban kifejezi a terület valós domborzati viszonyait. A domborzatmodell generalizálása során nagyon fontos megőrizni az összhangot a vízrajzzal (főleg tavak), valamint többségében sík terület lévén az erdőfelületek magasságtorzító hatásait is érdemes kiküszöbölni. Az automatizált generalizálás kivitelezése talán itt jelenti a legnagyobb kihívást. A domborzatmodell képszűrési vagy módosított képszűrési egyszerűsítésével jól megőrizhető a terület jellege. Szintvonalak DP-algoritmussal és a Li-féle egyszerűsítéssel, majd ezen állományok Chaikin-féle simításával is megfelelő eredményt értünk el, a felhasználhatósági méretarány-tartomány is hasonló. A kézi generalizáláshoz leginkább hasonló vonalrajzot és a legtágabb méretarány-tartományt a lineáris regressziós módszerrel tudtam elérni.

A tengerfenék ábrázolása során a fenékhegyeket vizsgáltam először. Ezek a vulkáni tevékenység hatására létrejött formák (a szárazföldi megfelelőjüknek formailag a rétegvulkánok tekinthetők) akár ezer méterrel is magasabbak lehetnek környezetüknél,

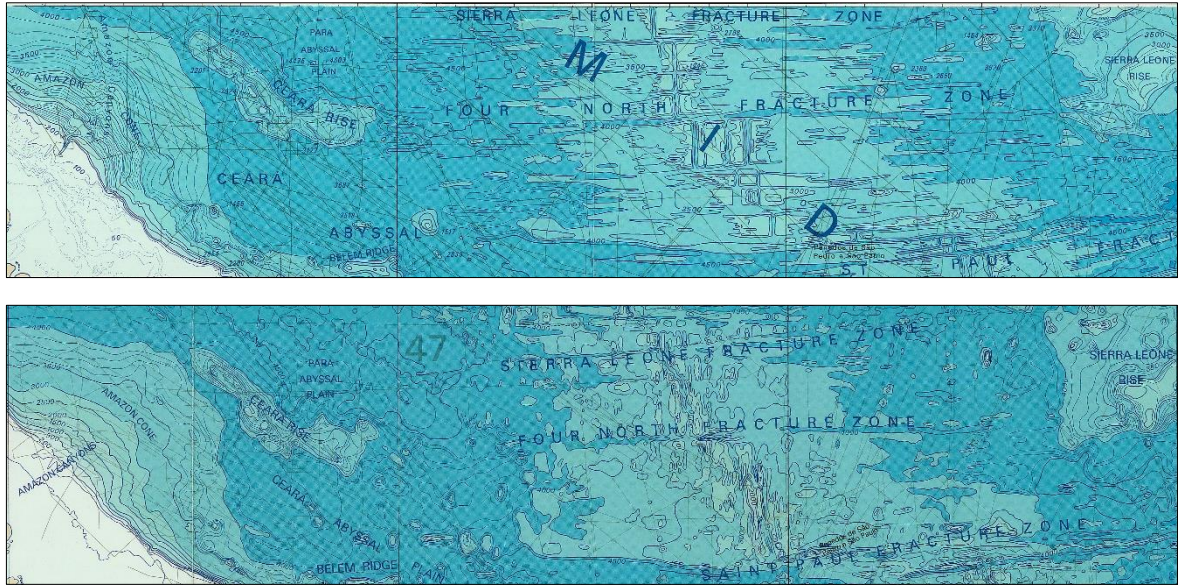
klasszikusan kúpszerűek (BORSY ET AL 1998). A vizsgálatok során kiindulásként az ETOPO1 modellt használtam (~1:2–2 500 000 térképnek felel meg), ezt egyszerűsítettem. A domborzatmodellel képszűréssel és módosított képszűréssel is kissé alacsonyodtak a kúpok a felbontás-változás hatására, de jellegzetes alakjukat kiválóan megtartották. Az objektumok területét megőrző kartográfiai vonalgeneralizálási algoritmus esetén a célméretarányt adtam meg, de ez már milliós méretarányban „kissé csal”: az izobátok alakja ugyan kisebb javításokkal jó, de ha paraméternek 100 milliót adok meg, a generalizáltság mértéke nem erősebb, mint 25–30 milliós térképnél. Valószínűleg az algoritmusban a tapasztalati úton megválasztott paraméter ebben a tartományban már nem megfelelő. Azonban ennél az algoritmusnál ügyelni kell a túl kicsi objektumok törlése funkcióra, ezzel eltűnhetnek a fenékhegyek legmagasabb pontjait jelző izobátok. Ha a fenékhegyeknél túl sűrűn lennének az izovonalak – akkor a fenékhegy talpát és legmagasabb pontját jelző izovonalakat megtartjuk – a köztesekből az „összeolvadókat” elhagyjuk. A DP-algoritmus hatására a szögletessé (három vagy négyszög) vált fenékhegyek kerek kúpjait a Chakin-féle simítással nem tudtam mindenhol visszaadni, a vonalvégeknél csúcsos maradt (ennek ellenére azokon a területeken, ahol kevés csúcsforma van, ott jól alkalmazható az algoritmus, kevesebb javítást igényel). Oka az algoritmusban keresendő, ugyanis az önmagába visszatérő vonalakat nem kezeli folytonos vonalként, a vonallánc az elsőtől az utolsó pontig tart. A Li-féle generalizáló algoritmus után a túl „szögletes” vonalakat Chaikin-algoritmussal simítottam (3.11. ábra), ezek a kerek szintvonalak kissé eltorzultak, a szomszédos izovonalak erősebb generalizálásnál átmetszik egymást.



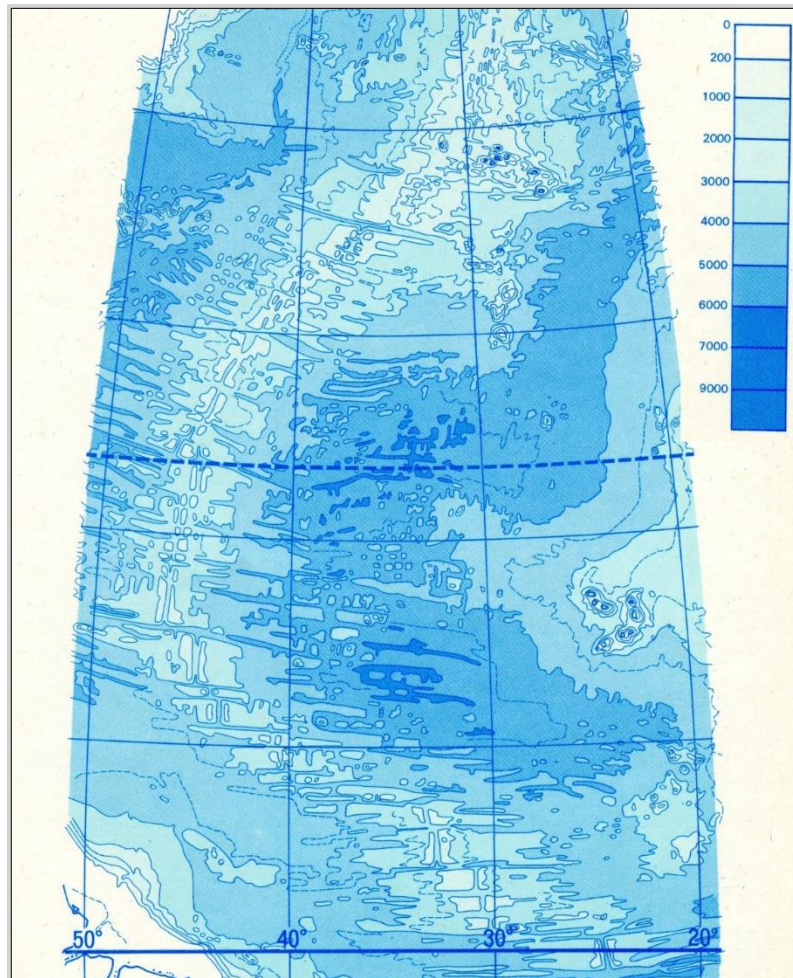
3.11. ábra: Bal oldalon vonalgeneralizálással, jobb oldalon képszűréssel egyszerűsített szintvonalakat láthatunk. A képszűrés során csökkent a szintvonalak száma, és helyenként összeolvadtak

A mélytengeri árkok az alábukó óceáni és szárazföldi kéreghatároknál jönnek létre, igen mély, az alábukás mentén hosszanti lefutású árokrendszert alkotnak. A mélységvonalak egymáshoz közel helyezkednek el, szinte érintik egymást. A vizsgálat előtti várakozásaim beigazolódtak: az árkok a szárazföldön található magashegységek negatív megfelelői, azzal az eltéréssel, hogy itt nem kell figyelembe venni a vonalas vízrajzi elemeket. A vizsgálatot a fenékheggyekkel megegyező módon hajtottam végre, az domborzatmodell egyszerűsítése után az eredmény itt is bizonyítja, hogy ez egy „járható út”, habár az eltűnő vonalak kiegészítése szükséges. Az objektumok területét megőrző kartográfiai vonalgeneralizálási algoritmus előbbieken felvázolt tapasztalatai itt is érvényesek. A DP-algoritmus és a Chaikin-féle (vagy Bézier-görbés) simítás alkalmazása ugyan jóval kisebb méretarányt enged, mint a Li–Openshaw módszere, vagy a lineáris regresszió, de a tesztek alapján jól alkalmazható. Az előbbivel a gond, hogy túlzottan szögletesek lesznek a szintvonalak, ami azonban simítással javítható.

Az óceánközépi hátságok talán a szárazföldi domborzattól leginkább eltérő formák: két, egymástól távolodó óceáni kéreglemez között kiáramló magma hatására a kéreglemez kissé felboltozódik, a bazaltláva lerakódik, és ez hozza létre a hasadékvölgyek mentén a vulkáni hegyláncokat. Mivel a szétsodródás térben és időben nem állandó, ezért a hosszanti gerincet merőlegesen szabdaló elmozdulások, ún. transzformvetők jönnek létre (BORSY ET AL 1998). A mélységvonalaknak ezeket az egymásra merőleges formákat úgy kell megőrizniük, hogy a sarkoknál az izovonalak lekerekítettek maradnak (3.12. ábra ugyanazon terület eltérő generalizálása átfedő térképszelvényeken).

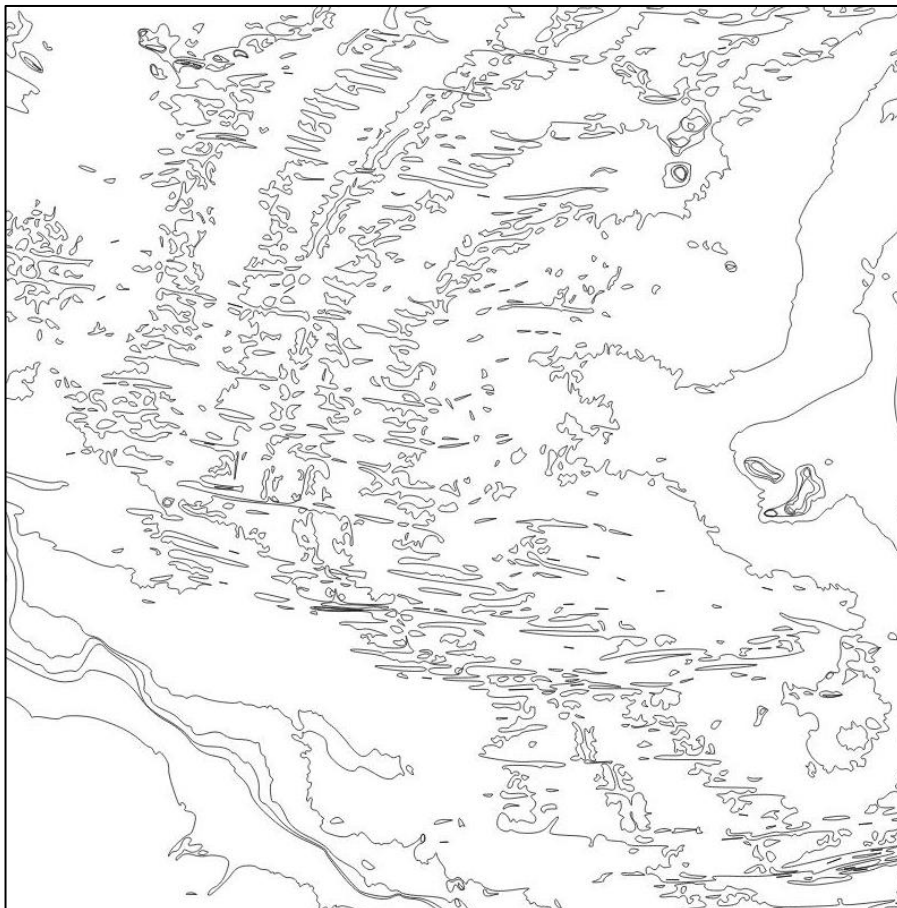


3.12. ábra: Az óceánközépi hátság szerkezetét jól és kevésbé kifejező módon megrajzolt, átfedő terület a GEBCO szomszédos szelvényein (5.12 és 5.16)



3.13. ábra: Az óceánközépi hátság kifejező ábrázolása a 40 cm-es iskolai glóbuszon. A Kartográfiai Vállalat 82 0013 munkaszámú "A tengerfenék-domborzat ábrázolásának vizsgálata" c. kutatás térképrészlete (MÁRTON-KÖVÁRI 1984)

Szemben az előbbiekkal, ahol a domborzatmodell egyszerűsítése jól működött, itt minél kisebb a méretarány, annál jobban eltűntek a transzformvetők mentén fekvő árkok, ezáltal elveszik a hátság jellegzetes szerkezete. Ezért a teljes tengerfenékre elérhető legnagyobb felbontású modellből, az ETOPO1-ből generált izobátok vonalgeneralizálásával próbálkoztam. Legjobb megoldásnak a DP-algoritmus tűnt, amely megőrzi az elemek jellegzetes „szögletességét”. Simításhoz a Chaikin-algoritmust ajánlom, úgy, hogy csak a két szomszédos csúcsot vegye figyelembe a simításhoz, ezzel lekerekítetté válnak a sarkok. Így nagyjából 20–30 milliós térképek készíthetők, ugyanakkor megjegyzendő, hogy minimális kézi korrekció is szükséges, minél kisebb a méretarány annál inkább. A hátság sok apró, kúp alakú hegyet is tartalmaz, ezek 1000 méteres alapszintközzel is megjelennek. A generalizálás során ezekből a kisebbeket el kell hagyni (3.14. ábra). Li módszerével is nagyon hasonló, jól használható eredményt kaptam. A lineáris regresszió kevésbé őrizte meg a hátság formáit, túl sok hullámos elem képződött.



3.14. ábra: Douglas–Peucker-algoritmus kifejezetten alkalmas a „szögletes” formák megőrzésére 20–25 milliós méretarányban is

Összegezve az algoritmusok tapasztalatait: nem találtam olyan algoritmust, amely univerzálisan, egészen nagy méretarányú térképekből kiindulva a kisméretarányú világtérképekig megoldaná a generalizálást. Azonban a korábbi kézzel végzett generalizáláshoz képest sokkal nagyobb lesz az alapanyagként használt térkép vagy adatbázis felhasználhatósági tartománya, illetve kevesebb szerkesztési munkát kell végezni a folyamat automatizálásával. Kis méretarányban a választott generalizálási módszer és algoritmus jelentősen befolyásolhatja a földfelszín jellegzetes formakincsének megőrzését a térképi ábrázolás folyamán. Ha túl nagy a különbség a kiindulási és célméretarány között a leghatékonyabbnak a domborzatmodell (módosított) képszűrési módszerrel történő egyszerűsítése, majd ezután az ebből generált izovonalak vonalgeneralizálása bizonyult.

3.11 A vízrajzi elemek bevonása a generalizálásba

A vízrajzi elemeket az összes térképtípuson szokás ábrázolni: a térkép „vázát” jelölik ki. A vízrajzi elemeknek és a domborzatrajznak mindig összhangban kell lenniük egymással, ezáltal a domborzatrajzot a vízrajzzal együtt kell (akár automatizáltan) generalizálni. Ehhez fontos ismerni a vízrajzi elemek morfológiai jellemzőit, ezeket szem előtt tartva végezhetjük el a vízrajz generalizálását. A vízrajzi elemeket több csoportba sorolom: folyóvizek, állóvizek (tavak), pontszerűen ábrázolható vízrajzi elemek (pl. forrás, kút), mocsarak és lápok (növényzeti fedettséggel rendelkező vízrajzi elemek), belföldi jégtakaró és gleccserek, valamint tengerek és óceánok (partvonalak). A térkép méretarányától és céljától függően az egyes elemek ábrázolási módja megváltozhat, pl. nagy méretarányban felületként ábrázolt folyóból a méretarány csökkenésével vonallánc lesz. Előfordulhat az is, hogy a vonalas jellel ábrázolt folyó a térképen egy adott méretarányban nagyobb területet fed le, mint a valóságban, de fontossága miatt nem elhagyható, vagy vékonyítható. A természetes eredetű vízfolyások és a szintvonalak esetén hegységi és dombsági területeken a derékszög-szabályt kell követni: azaz a vízfolyás mindig merőleges a szintvonalra, vagyis pontosan a völgyben folyik (RÁTÓTI 1984). A nyolcvanas években született meg Rátóti Benő kandidátusi értekezése, amelyben részletesen foglalkozik a vízrajzi elemek generalizálásával, ezért én csak egy-egy részletet emeltem ki, amelyet a saját munkám megértése szempontjából fontosnak vélek. A vízrajzi elemek automatizált generalizálásának vizsgálata akár egy újabb doktori értekezés témakörét képezhetné. A szakirodalomban eddig kevesen foglalkoztak a vízrajz és a domborzat együttes vagy összehangolt automatizált generalizálásával. A témakörhöz indokoltnak tartom ennek a két új fogalomnak a bevezetését. Az együttes

generalizálás során egyszerre vesszük figyelembe a vízrajzi és domborzati elemeket, míg az *összehangolt automatizált generalizálásnál* külön-külön egyszerűsítjük és/vagy simítjuk az elemeket, majd egymáshoz igazítjuk, „hangoljuk” őket.

Az együttes generalizálásra példaként említeném a Douglas–Peucker-algoritmus háromdimenziós változatát (HUANG ET AL 2009). Ekkor a vízrajzi elemek és a felszín töréspontjaihoz magasságot rendelünk, és a Douglas–Peucker algoritmust kiterjesztjük a harmadik dimenzióba: egy alapsíktól vizsgáljuk a merőleges távolságokat, emellett főleg a vízrajzhoz kötött, kiemelt pontokat is bevezetünk, amelyek nem módosulhatnak.

Samsonov térinformatikai programokban elérhető funkciók alapján állította fel a vízrajz és szárazföld összehangolt generalizálására alapuló gondolatmenetét (SAMSONOV 2011), amelyhez Leonowicz módszerét használta a domborzat egyszerűsítéséhez (felül és alulvágó szűrők) (LEONOWICZ ET AL 2009).

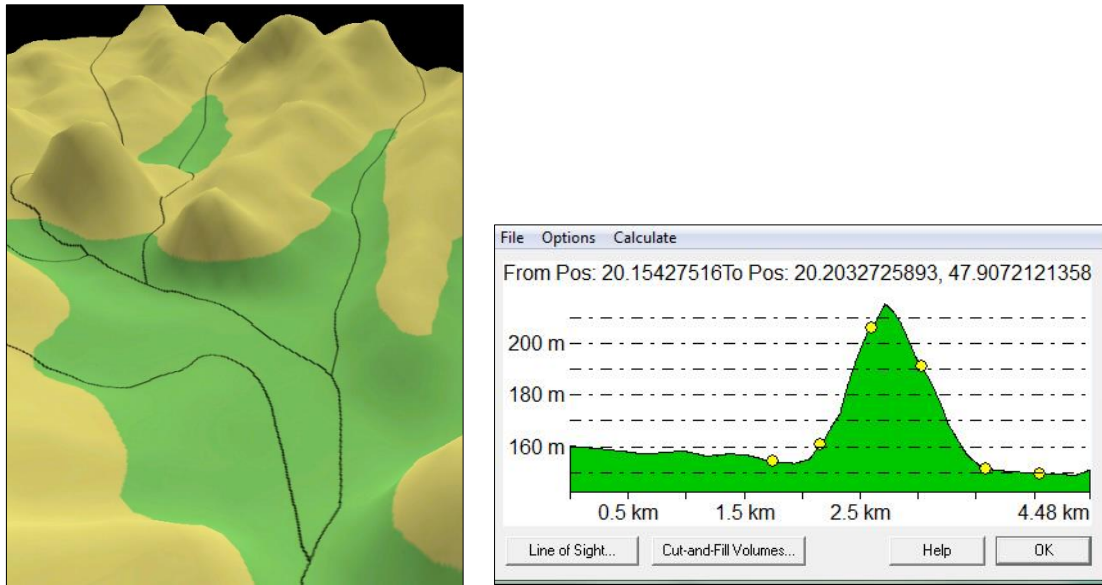
Ai kidolgozott egy módszert, amellyel a szintvonalakból Delaunay-háromszögeléssel csoportokat képez – ezek a csoportok völgyeket jelképeznek. A vízgyűjtő rendszer hierarchikus felépítése és geometriája alapján az algoritmus eldönti, melyik völgyeket tartsa meg (AI 2007).

A domborzatmodellek és a vízrajz összehangolt generalizálásának egyes lépéseire hasonlók térinformatikai szoftverekben is megtalálhatók. Ám ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy ezek nem a kartográfiai generalizálás céljára készültek, ezért hasonló eredményt több köztes lépéssel lehet csak elérni. Az itt bemutatott módszer és a hozzá készült program azért jelent előrelépést az eddigiekhez képest, mert adatainktól függően, nem szükséges a szoftverek részletes megismerésére és a funkciók sok lépésből álló, helyes végrehajtásának sorrendjére figyelni, hanem a célzottan a generalizálásra koncentrálhatunk. A teljesség kedvéért a szoftverek hasonló moduljait ismertetem röviden.

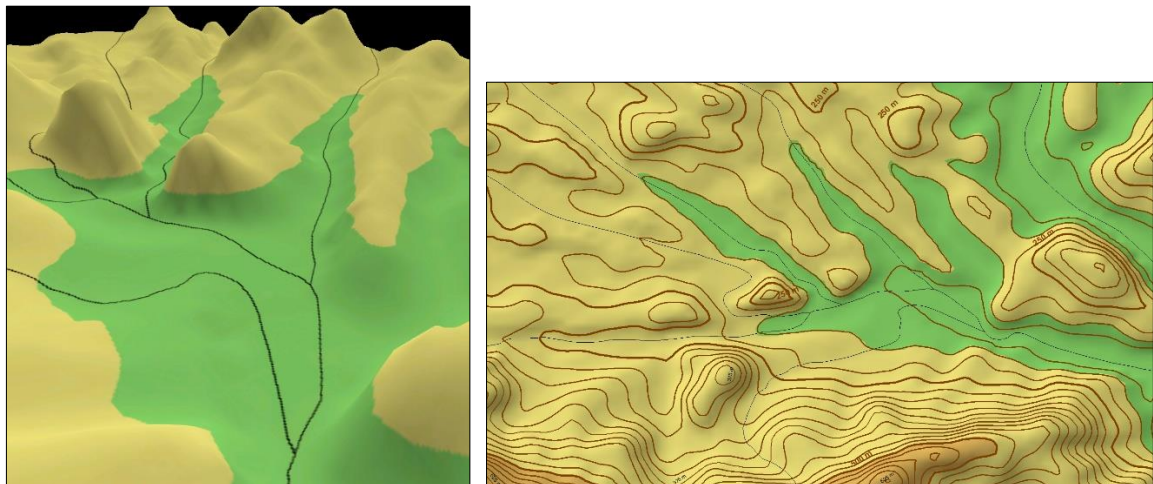
Az ingyenes megoldások közül a Grass GIS-t és a SAGA GIS-t említeném, míg a másik oldalról a Global Mapper és az ArcGIS-t. A hagyományos képszűrési algoritmusok a Global Mapperben elérhetők (box átlag, box minimum és box maximum stb.). Az ArcGIS a Spatial Analyst modulban egy (raster) Generalization és egy Hydrology toolsetet is tartalmaz. Az előbbivel raszteres adatok, így domborzatmodellek szűrése valósítható meg. Az utóbbival a domborzatmodellből komplex lefolyásmodell készíthető, ezáltal a vízgyűjtő területek rendszere, az összefolyási pontok és a vonalas lefolyási irányok, a legmélyebben fekvő, kifolyó pont helyzete is kiszámolható. A domborzatmodell alapján berajzolt lefolyási

irányok akár meg is egyezhetnek a ténylegesen ott található vízrajzi elemekkel, ha éppen az adott völgyben van vízrajzi elem. Ezt azonban meglévő adatbázisokkal való összehasonlítással ellenőrizni kell, de megjegyezném, hogy szárazabb éghajlatú területeken jóval több vonal törlése válhat szükségessé. Ezen kívül a vízfolyások automatikusan osztályozhatók is, valamint megoldást kínálnak a felfelé és lefelé folyás problémájára is (depressziómentes DEM-ek). Ez az algoritmus azonban csak raszteres adatokat használ, ezért a számítások túl sok memóriát igényelnek, illetve továbbra sem veszik figyelembe a tényleges vízfolyásokat (ARCGIS 2016). A Hydrology modullal funkcionalitásában szinte megegyező algoritmusokat kínál a Grass GIS (Flow direction, Hydrological model, Stream modules, Watershed modules) és a SAGA GIS (Hydrology) is (GRASSGIS 2016, OLAYA 2004).

A fentiek ismeretében az *összehangolt generalizálásra* a következő módszert dolgoztam ki, amellyel célom, hogy egyszerűen és könnyen végrehajtható, de mégis hatékony legyen. A 3.8 fejezetben bemutatott módosított képszűrés alkalmas egyszerűsített, kisebb felbontású és részletességű domborzatmodellek létrehozására. Ha a vízrajzi elemeket nem vesszük figyelembe az egyszerűsítés során, itt is előfordulhat, hogy a folyó „felfelé” folyik, vagyis a szűk völgyek bezárulnak és ezt az összezárult emelkedőt kell megmászniuk, hogy azután a túloldalon ismét a lejtőn lefelé vegyék az irányt. Ezért a módosított képszűréssel egyszerűsített domborzatmodellt a vízrajzi elemek mentén kijavítottam a következőképpen: betöltöttem a generalizált folyórajzot, és a vonalas elem mindegyik töréspontjához hozzárendeltem egy magasságot a domborzatmodell alapján. A folytonosság megőrzését segíti, ha a folyót jelentő vonallánc mentén addig sűríttem a csomópontokat, hogy a domborzatmodell minden szomszédos pixelére essen egy töréspont. Ezután, a forrástól kezdve megnéztem minden csomópont magasságát: ahol folyamatosan lejt, változatlanul hagyom; ahol egy kúpon folya át, ott az addigi legalacsonyabb pont magasságát (Z_{min}) rendelem a kúpon átfolyó értékekhez. A gyakorlatban egy pixel megváltoztatása kevés, ezért a körülötte lévő pixelek a $\frac{(z+z_{min})}{2}$ értéket kapják (ahol z a megváltoztatandó pixel eredeti értéke). Az állóvizek, a tavak felszínének simítását a 2.4 fejezetben mutattam be (M: II./10.).



3.15. ábra: A „felfelé” folyó patakok (fekete) tipikus esete háromdimenziós képen és metszeten

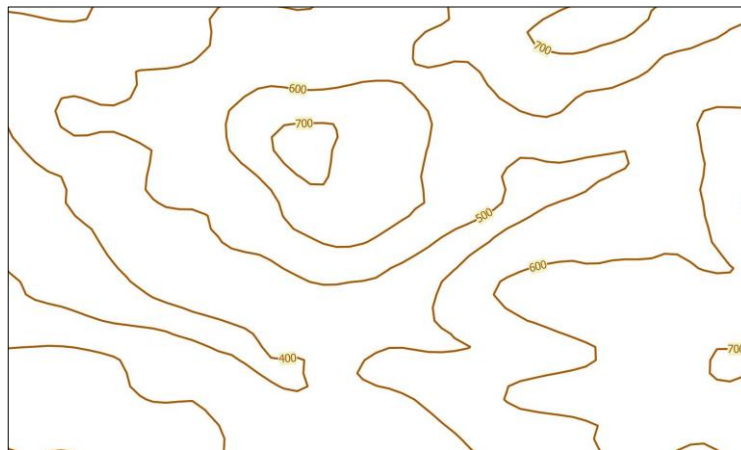


3.16. ábra: A folyó és a domborzatmodell összehangolt egyszerűsítése után a korábban bezáródott völgy is kinyílik

3.12 Kiegészítő domborzatrajz

Az izovonalas domborzatábrázolás során a szint- és mélységvonalak önmagukban nem elegendők ahhoz, hogy teljeskörűen kifejezzék a szilárd földfelszínt. A szintvonalak létrehozásához abszolút magasságmérési módszerek szükségesek, hogy meghatározhassuk a terep egy választott referenciafelület (tengerszint) feletti magasságait. Ezeket a magasságokat tüntetjük fel a szintvonalakon úgy, hogy a rajzban megszakítjuk azokat. A szintvonalszám „talpa” a lejtés irányát fejezi ki, az optimális szintvonalszám-sűrűség a térkép 1 dm² felületén kb. öt-tíz darab (pl. EOTR 1:10 000 térkép esetén, többségében magassági pontok), melyek lényege, hogy könnyen leolvashatók legyenek a magassági

viszonyok (T.1. 1976). Térinformatikai szoftverekben a szintvonalak megírhatók (címkézés; a vonalak ekkor nem szakadnak meg), a jobb olvashatóság érdekében érdemes kontúrt vagy halvány háttérrel (a térkép háttérszínével azonosat) adni a szintvonalaknak. Az automatikus címkézésnél egyelőre a szoftverekben nincs olyan eszköz, amellyel pl. egy topográfiai térkép követelményeinek megfelelően, automatikusan lehetne megírni a szintvonalakat. A szoftverekben az összes, vagy kiválasztott (megjelenítési szabályként definiált) szintvonalakat lehet megírni. Ezeknek a címkéknek a helye nem állandó a vonalon, függ az aktuális nagyítási szinttől és nézettől (3.17. ábra). A szintvonalak „talpa” nem feltétlenül a lejtés irányába mutat, a szoftver a képernyőn való olvashatóságot veszi elsősorban figyelembe.



3.17. ábra: A szintvonalszám automatikus elhelyezése egy térinformatikai szoftverben

A szintvonalakon kívül eséstüskék is segítik a terep lejtéseinek meghatározását. Ezek rövid (1–2 mm hosszúságú), a szintvonalra merőleges, színükben és vonalvastagságukban (az alapszintvonalal) azonos, egyenes vonalak. Ott kell elhelyezni ezeket, ahol nem egyértelmű, vagy nehezen meghatározható a terep lejtése. Mindig a szintvonalak legnagyobb görbületére kerülnek. Manapság a térinformatikai szoftverekben generált izovonalrajz esetén nem jönnek létre automatikusan, ezért a térképszerkesztők sokszor „elfelejtik” létrehozni.

A szoftverekben szintén utólag kell feltenni a többi kiegészítő elemet. Nagy méretarányban egyezményes jelekkel kell ábrázolni a tereplépcsőket, a terepszakadásokat, a metszódéseket, a vízmosságokat, a horhosokat, a csuszamlásokat és suvadásokat, a kő- ill. kavicsomladékokat, a szakadékokat, a halmokat és gödröket, a sziklákat és a barlangok bejáratát, közepes és (kis) méretarányban inkább csak a sziklarajz ábrázolása jellemző. Ezeknek a jeleknek a felhelyezése nehezen programozható, több tényezőtől függ, ezért

automatizált elhelyezésükkel nem foglalkoztam. A szerkesztési folyamat igényli a térképszerkesztő grafikai tudását, a többi térképi elemmel való kapcsolat vizsgálatát, valamint egyedi grafikai elemek létrehozása is szükséges lehet (pl. a területre jellemző sziklarajz: homokkő és mészkő területek morfológiai jellegzetességei). Emellett megemlíteném, hogy már születtek próbálkozások a sziklarajz automatizált kirajzolására is: például a svájci topográfiai térképek nagy mennyiségű sziklarajzot tartalmaznak (svájci stílusú csíkozásos sziklarajz-ábrázolás), amelyet az utóbbi években egy grafikus tablettel és az Adobe PhotoShop programmal készítettek el (JENNY ET AL 2014). Ennek továbbfejlesztett változataként domborzatárnyékolt képből és a sziklafelszíneket tartalmazó maszkrétegből automatizált feldolgozással hozták létre a csíkozást (GEISTHÖVEL–HURNI 2015), bár ez egyelőre még nem ad elég szép képet. Középhegységi és dombsági területeken a sziklarajz más stílusú, például a magyar és a cseh topográfiai térképeken egymáshoz hasonló. A cseh térképek példáján megvalósítottak egy részlegesen automatizált módszert, amelyhez bemeneti adatként szükség van egy nagyméretarányú digitális terepmodellre, a sziklarajzot lefedő poligon rétegre (ez két részre bontott: az alsó és a felső sziklarajzhoz) (LYSÁK 2015).

3.13 A domborzatrajz készítése során elkövethető jellemző hibák

A dolgozat elkészítése során sok olyan térképpel találkoztam, amelyeken a szerző térképszerkesztési ismeretei hiányosak voltak, ellenben a szoftveres ismeretei megfelelőek, ezáltal hozta létre a hibás vagy olvashatatlan térképeket. A térinformatikai szoftverek megjelenésével a potenciális térképszerkesztők köre bővült, ugyanakkor sokak ismeretei nem megfelelőek az adott térképszerkesztési feladat elvégzéséhez.

A következő listában gyűjtöttem össze azokat a hibákat, amelyeket „kezdő” térképszerkesztők gyakran elkövetnek, miközben próbálják kihasználni a szoftverek nyújtotta lehetőségeket (példatérképek említése nélkül).

- Hibás vagy hiányos horizontális és/vagy vertikális generalizálás: az izovonalas ábrázolásban a vonalak túl részletesek a választott méretarányhoz képest (elmaradt generalizálás, csupán kicsinyítés történt), illetve ennek ellentéte: amikor nem elég részletesek az izovonalak sem alakjukban sem sűrűségükben (nagyítás).
- „Teljes” hipszometrikus skála használata kis magasságkülönbségű területeken: a szerkesztő 10–100 méteres magasságkülönbségekre a zöld–sötétbarna színskálát

alkalmazza, ezzel azt sugallva, hogy egy kisebb domb magashegységként jelenik meg.

- A szoftver „default” színskálájának alkalmazása (ez általában kék-zöld-sárga-narancs-vörös, amely eltér a hagyományoktól). A saját rétegszínezés igényének hiánya.
- A rétegszínezés felesleges használata: főleg nagy-, vagy közepes méretarányú térképeken a fehér háttér „kitöltésére”.
- „Szögletes” szintvonalak: nem simított vonalak, vagy nem megfelelő (túl nagy) méretarányban használt szintvonalak.
- Túl sötét színek a rétegszínezésben: ennek következtében a névrajzot fehér betűvel szedik. A summer hozzáadása után is besötétedhetnek a színek.
- A rétegszínezést határoló szintvonalak tizedes törtek, vagy értelmetlenül megválasztott számok: az automatikus magasságbeosztás következménye (pl. egyenlő nagyságú intervallumok esetén). Ezek nem látszódnak a magassági színskálán sem.
- Rétegszínezésnél túl sok kategória, ezért „összeolvad” a színskála két szomszédos eleme.
- Szintvonalak automatikus címkézése esetén minden szintvonal megírt, de az nem követi a hagyományokat.
- Hiányzó kiegészítő domborzatrajz, szintvonalmegírás vagy eséstüske közepes vagy nagy méretarányban.
- Az árnyékolás esetén ugyan el lehet térni a hagyományoktól, de a gyakorlatban nem szokás (Ferde megvilágítás ÉNY-i irányból, a végtelenben lévő fényforrással, ami 45°-os magassági szöget zár be a horizonttal.).
- A térkép készítése során ismerni kell, hogy a térkép milyen kontextusban jelenik meg: önmagában, vagy atlasz illetve térképsorozat részeként. Utóbbiaknál figyelembe kell venni, hogy ha eltérő területeket ábrázolunk is nemcsak a rétegszínezés színskálája, hanem a magassági és mélységi beosztása is egységes legyen (MÁRTON 2000). Zavaró, sőt megtévesztő ugyanazon területen eltérő rétegek felvétele vagy kihagyása, lásd. Kartográfiai Vállalat 1955-ös iskolai atlaszának példáját a 3.9 fejezetben.

4. A vertikális generalizálás

A szintvonalak futásirányú egyszerűsítése (a horizontális generalizálás) mellett szükség van az egyes magasság- vagy mélységvonalak (izohipszák vagy izobátok) kiválogatására, ugyanis kisebb méretarányban nincs hely és mód feltüntetni az összes (végtelen számú) szintvonalat, ettől túlszűfoltta, olvashatatlaná válna a térkép. Azokat a szintvonalakat kell kiválogatni, amelyek jól kifejezik a terep jellegét az adott méretarányban, a jellegzetes domborzati formákat megtartják. A méretaránytól, és a terep meredekségétől függően változnak a megjelenítendő szintvonalak. A nagy- és közepes méretarányú topográfiai térképek szerkesztése esetén a szerkesztői utasítás (szabvány) szerint kell eljárni.

| | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|
| EOTR 1:10 000 | 1; 2; 2,5; 5 m | EOTR 1:25 000 | 5 m | EOTR 1:100 000 | 10 m |
| EOTR 1:200 000 | 20 m | Gauss– Krüger/UTM 1:25 000 | 5 m | Gauss– Krüger/UTM 1:50 000 | 10 m |
| Gauss– Krüger/UTM 1:100 000 | 20 m | Gauss– Krüger/UTM 1:200 000 | 40 m | JOG Ground 1:250 000 (méterben) | a terep jellegétől függően változik 25, 30, 50, 100 m |
| JOG Air 1:250 000 (lábban) | a terep jellegétől függően változik 25, 30, 50, 100 m | III. katonai felmérés 1:25 000 | 20 m (10 m-es felező) | III. katonai felmérés 1:75 000 | 100 m (50 m-es felező) |
| III. katonai felmérés 1:200 000 | 300 m | Reambulálás, 1920–1926 1:25 000 | 10 m (5 és 2,5 m-es segédszv.) | Új felmérés 1927–1938 1:25 000 | 10 m (5 és 2,5 m-es segédszv.) |
| III. katonai felmérés újra kiadása 1938 1:25 000 | 20 m (10, 5, 2,5 m-es segédszv.) minimális helyesbítés | Új „75 ezres” térképek a reambulált „25 ezres” alapján, és revideálás 1924–1944 1:75 000 | 20 m (10, 5, 2,5 m-es segédszv.) minimális helyesbítés | Új felmérés, polgári 1952–1980 1:10 000 (1:5 000) | 1; 2; 2,5; 5 m |

4.1. táblázat: A Magyarországon használt topográfiai térképrendszerek alapszintköze az egyes méretarányokban (1:10 000–250 000) (1869–2016) (JANKÓ 2007)

Előfordulhat, hogy egy szelvényen belül is megváltozik a magassági alapszintköz a terep meredekségétől függően. Magyarországi térképrendszereknél a szintvonalak

fotogrammetriai felmérésekből származnak; a 4.1. táblázatban összefoglaltam a magyarországi topográfiai térképrendszerekben használatos alapszintközöket.

Egyéb nagy- és közepes méretarányú (pl. tájfutó, turista, vízisport) térképeken a szintvonalas ábrázolás tulajdonságai megegyeznek a topográfiai térképekkel. Többnyire ezeknél is az alapszintköz állandó (bár előfordul, hogy ritkább, mint a hasonló méretarányú topográfiai térképeknél). A szintvonalakat ritkán egészíti ki árnyékolás, vagy magasságiréteg-színezés.

A kisméretarányú térképeken, ahol a szintvonalas ábrázolást már gyakran szokás rétegszínezéssel és/vagy domborzatárnyékolással kombinálni, a szintvonalak is változó. Korábban Eduard Imhof vizsgálta az egyes magassági rétegek optimális kiválasztását, ezekből néhányat a gyakorlatban is alkalmazhatatlannak vélt:

- egyenközű lépcsők módszere: állandó, de jóval nagyobb alapszintköz mint a topográfiai térképeknél;
- kétféle egyenközű lépcsők módszere: alacsonyabb területeken bevezet egy második alapszintközt is;
- egyenlő területű lépcsők módszere: az ábrázolt terület minden magassági tartományban közelítőleg megegyezik.

Valamelyiket részben vagy egészében alkalmazhatónak tartotta:

- tetszőlegesen választott közű lépcsők módszere: Imhof szerint kevésbé érthető, bár alkalmazható;
- számtani sorozat szerint növekvő lépcsők módszere: a szintköz egy számtani sorozat elemeivel növekszik, Imhof szerint csak olyan területen alkalmazható, ahol a sorozat elemeinek első néhány tagja szerepel, így nem keletkeznek nehezen értelmezhető magasságok.
- mértani sorozat szerint növekvő lépcsők módszere: a szintköz egy (közel) mértani sorozat szerint változik, Imhof szerint a legjobb megoldás, pl. 0, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 4000 m (IMHOF 1965), de hangsúlyozza, hogy a síkvidék alulreprezentált.

A mai térképkészítési gyakorlatban a mértani sorozat szerint növekvő lépcsők módszerét szokás kombináltan alkalmazni a tetszőlegesen választott közű lépcsők módszerével, ha a terület jellege és a méretarány azt megkívánja. Különbséget kell tennünk a pusztán izovonalas ábrázolás, és a rétegszínezést tartalmazó térképek között, az utóbbinál ugyanis

kevesebb izovonalat szokás felvenni. Márton Mátyás már figyelembe vette a térkép méretarányát, ami alapján kiszámolta, hány darab szintvonalat érdemes felvenni az adott méretarány-tartományban. Ráadásul ajánlásokat is adott, hogy a tengeri területeknél mely szintvonalakat érdemes felvenni. Számításait az egyes mélységek gyakorisága alapján végezte el. A kidolgozott módszert később a szárazfölkék kisméretarányú ábrázolására is kiterjesztette (MÁRTON 2008). Mára az egyes, jóval részletesebb domborzatmodellek, illetve a térinformatikai szoftverek jóval pontosabb számításokat tesznek lehetővé, amelyeket elvégeztem a dolgozatom keretében.

4.1 A Föld magasság- és mélységlépcsőinek méretei és a vertikális generalizálás összefüggése

A kisméretarányú térképeken használható izovonalas és/vagy rétegszínezéses ábrázolás helyes megvalósítása érdekében megvizsgáltam, hogy hogyan válasszuk ki a megfelelő izovonalakat az ábrázolandó terület magasságainak ismeretében, oly módon, hogy a lehető legjobban bemutatható legyen a terület jellege, s az eljárás matematikai számításokon alapuljon. Ehhez először képet kellett kapni a teljes Föld magasság- és mélységviszonyairól.

Az ETOPO1 domborzatmodell alapján kiszámítottam, hogy az egyes magasság- és mélységlépcső-tartományokba a Föld mekkora területe tartozik. A szárazföldön a mértani sorozat szerint növekvő lépcsők módszerével hoztam létre a réteglépcsőket (Imhof), míg a tengereknél Márton módszere szerint (MÁRTON 2012) jártam el, ezzel egyúttal lehetőség nyílt a korábbi számítások ellenőrzésére is. A számításokat a QGIS-ben végeztem: létrehoztam a réteglépcsőket tartalmazó, az eredetivel megegyező felbontású raszteres képeket (pl. $200 \leq x < 500$; ha igaz a pixelérték 1, ha hamis 0). Ezeket vektorizáltam, a poligonoknak pedig egy 30° -os parallelkörökben hossztartó, területtartó hengervetületben (EPSG: 3410) kiszámítottam a területét. Ezután összegeztem a felületüket réteglépcsők szerint (4.2. táblázat).

A táblázat alapján megállapítható, hogy Márton Mátyás számításai helyesek voltak, csak apróbb eltéréseket fedezhetünk fel (pl. 5–6 és 6–7 km között). Minél nagyobb terület fekszik a választott területen az adott réteglépcsőben, annál sűrűbben érdemes felvenni izovonalakat, hangsúlyozni a terület fontosságát. Készítettem egy útmutatást és programot is, amely ajánlásokat ad akár izovonalas, akár rétegszínezéses ábrázolás esetén arra, hogy mely izovonalakat érdemes felvenni, vagyis hogy hogyan hajtsuk végre a vertikális generalizálást. Mivel több szempontot is figyelembe kell venni, ezért a feladat elég összetett: próbáltam

minél több esetet összegyűjteni. Bemenetként mindössze az ábrázolandó területet tartalmazó domborzatmodellre, az ábrázolás módszerére (izovonalas vagy rétegszínezéses) és a célméretarány megadására van szükség. A program működése a következő:

- Meghatározza a területen található minimális és maximális mélységeket vagy magasságokat, kirajzolja a magasság- és mélységgyakoriság függvényét. Megnézi, hogy az adott terület hány százaléka esik a már korábban bemutatott réteglépcsőkbe. Kiszámolja, hogy abban a réteglépcsőben hány réteget/szintvonalat kellene megjeleníteni (M: II./11. melléklet).

| 0– 50 m | 50– 100 m | 100– 200 m | 200– 500 m | 500– 1000 m | 1000– 2000 m | 2000– 4000 m | 4000– 8000 m |
|------------|--------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 7,75 | 7,04 | 13,2 | 27,73 | 18,43 | 15,0 | 9,08 | 1,78 |
| 2,25 | 2,04 | 3,83 | 8,04 | 5,35 | 4,35 | 2,63 | 0,52 |

| 0– 200 m | 200– 1000 m | 1000– 2000 m | 2000– 3000 m | 3000– 4000 m | 4000– 5000 m | 5000– 6000 m | 6000– 7000 m |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 7,45 | 4,27 | 4,44 | 8,66 | 22,37 | 31,81 | 19,95 | 0,93 |
| 5,29 | 3,03 | 3,15 | 6,15 | 15,88 | 22,58 | 14,16 | 0,66 |

| 7000– 8000 m | 8000– 9000 m | 9000– 11000 m | Szárazföld összesen | Tenger összesen | Teljes földfelszín |
|-----------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|
| 0,09 | 0,03 | 0,01 | 100% | 100% | - |
| 0,06 | 0,02 | 0,01 | 29,01 | 70,99 | 100% |

4.2. táblázat: A Föld területeinek megoszlása az egyes réteglépcsőkben. 1. sor: a réteglépcsők beosztása; 2. sor: a szárazföld/tenger területének hány százalékát alkotja az adott réteglépcső; 3. sor: a réteglépcső a Föld felületének hány %-át alkotja

A vertikális generalizálásra alkalmas programot, vagyis a működését vezérlő elveket a következőképpen építettem fel rétegszínezéses ábrázolás esetén. Ahhoz, hogy a rétegszínezést kialakítsuk, a térkép közzétételének módját is ismerni kell (nyomatással és/vagy digitális megjelenítéssel publikáljuk-e). A nyomtatás során használt felbontás és nyomtatási technika befolyásolhatja a színezéssel kialakított rétegek számát. Manapság CPT technológiával létrehozott nyomólemezekről, digitális nyomdákban plotterrel, vagy házi sokszorosítás során színes lézer- vagy tintasugaras nyomtatóval készülnek a térképek. Nyomdákban lehetőség van direkt színek használatára is a CMYK mellett (bár ez igencsak növelheti a költségeket). Az említett okok miatt is a felhasználónak lehetősége van megadni, hogy hány darab magassági és mélységi réteget szeretne.

Ha a felhasználó mégsem élne ezzel a lehetőséggel, akkor a programnak kell meghatározni a réteglépcsők számát. Ehhez megvizsgáltam az atlaszok térképlapjait a teljes Föld, Európa, Magyarország és a Kárpát-medence vonatkozásában, hogy meghatározhatom

az optimális rétegszámot. A vizsgálat során figyeltem arra, hogy különböző kiadók és országok eltérő időben született kiadványait nézzem meg. A szárazföldön és tengereken is legalább hat réteget különböztettek meg (a szárazföldeken ebből egy a mélyföld) földrajzi térképeken (Megjegyzendő, hogy a MÁRTON 2012 128. oldalán lévő táblázat szerint kevésbé jellemző, de négy mélységlépcső is előfordult egyes atlaszokban). A vizsgált művekben jellemző többnyire, hogy kb. megegyezik a szárazföldi és óceáni mélységlépcsők száma. Általánosan kijelenthetjük, hogy 7–9 a felvett réteglépcsők száma a szárazföldön és a tengereken is. Kisebb területeket ábrázoló térképeken, pl. Európa térképein, ahol kisebb a magasságkülönbség, mint Ázsiánál, a szárazföldeken megtartották ezt a kb. 7-9 mélységlépcsőt, ugyanakkor az Atlanti-óceán ábrázolásakor több atlasznál is csupán felére vagy kétharmadára csökken a réteglépcsők száma. A Kárpát-medence vagy Magyarország térképeinél a szárazföldi réteglépcsőinek száma általában 8-10. A 1967-es és 1989-es magyar nemzeti atlaszokban több – 12, illetve 13 darab. Némely atlaszokban az egy színnel kitöltött réteglépcsőket szintvonalakkal osztják tovább (pl. The World Atlas, vagy az itt nem vizsgált GEBCO térképein is), de ez csak néhány tartományban megfigyelhető. A vizsgált atlaszok listája a M IV./1. mellékletben elérhető. A fentiek alapján úgy döntöttem, hogy azoknál a területeknél, amelyeknél a szintkülönbség legalább 1000 méter a szárazföldön vagy a tengeren a program 9+1 (mélyföld) réteglépcsőt ajánl a szárazföldekre, és kilencet a tengerekre. (Ezekhez szabad szemmel is könnyen megkülönböztethető színárnyalatok rendelhetők.) A többi lehetőséget a 4.3. táblázat mutatja. A rétegszínezéshez ajánlott legnagyobb méretarány 1:500 000, de néha alkalmaznak ennél nagyobbat is. Ha nem általános célú térképekhez készítjük el a rétegszínezéses háttértérképet, hanem kifejezetten a hegy- és vízrajzot szeretnénk ábrázolni, a megadott rétegszámnál több is indokolt lehet. A színskála alkalmazásánál ügyelni kell arra, hogy az alföldekből kiemelkedő dombságok ne magashegységeknek tűnjenek a sötétbarna árnyalat miatt.

| Szárazföld | | Tenger | |
|------------------------------------|-----|-------------------------------------|---|
| több mint 1000 m szintkülönbség | 9+1 | több mint 3000 m szintkülönbség | 9 |
| 500–1000 m szintkülönbség | 7+1 | 1000–3000 m szintkülönbség | 7 |
| kevesebb mint 500 m szintkülönbség | 5+1 | kevesebb mint 1000 m szintkülönbség | 5 |

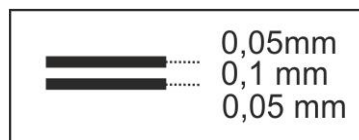
4.3 táblázat: Ajánlások az alkalmazandó réteglépcsők számára szárazföldön és tengereken rétegszínezéshez

A program megvizsgálja a betöltött domborzatmodellt és kiszámolja, hogy az egyes réteglépcsőkbe (4.2. táblázat szerint) a magasságok hány százaléka esik. A megoszlás és a meghatározott rétegszínezés szám (4.3. táblázat) alapján megmutatja, hogy hány réteget

érdemes az adott réteglépcsőben felvenni. A M: IV./2. mellékletben a már ismert mátrai mintaterületről látható egy példa.

A rétegszínezés egyes lépcsői szintvonalakkal kettébonthatók. Ezt ott érdemes kivitelezni, ahol elég nagy terület fekszik az adott réteglépcsőben, pl. 1000 és 2000 m között érdemes felvenni az 1500 m-es szintvonalat.

A másik lehetőség, hogy csak izovonalakat használunk a térképen. Nagy és közepes méretarányban az állandó szintvonalközt ajánlott a 4.1 részben felsorolt topográfiai térképek alapján. Szintvonalas térképeknél kis méretarányban részben vagy egészben is gyakran szabályszerűen ismétlődnek a szintvonalak, például a tengerfenék ábrázolásánál GEBCO kiadványain; de sokszor találunk olyan szintvonalakat, amelyek között a magasságkülönbség 50, 100, 200, 250 vagy 500 méter. A felsorolt esetekre kiszámoltam, hogy mekkora a vízszintes távolság a térképen az adott szintkülönbségeken 5%, 12%, 17%, 25%, 40%, 60% és 80% lejtők mellett különböző méretarányokban (összefüggés: $\text{lejtőszögSzázalékban} = \text{tg}(\text{lejtőszögFokban}) \cdot 100$) (MÁRKUS 2010). A lejtőmeredekségeknél a geomorfológiában és mezőgazdaságban is használatos beosztást alkalmaztam kiegészítve az extrém, 60% és 80% lejtőmeredekséggel. A szintvonalak közötti minimális távolság legalább 0,1 mm. Korábban 0,3 mm volt, mára a számítógépes technológia ennél kisebb rajzi távolságot is lehetővé tesz, ezért választottam a 0,1 mm-t. (Ha a számításban a vonal középtengelyét vesszük figyelembe, akkor a vonalvastagság felét kétszer hozzá kell adni a szintvonalak közötti távolsághoz – 4.1. ábra.)



4.1. ábra: A vonalak közötti távolság legalább 0,1 mm. Ha a középtengelytől számítottuk a szintvonalak közti távolságot, akkor hozzá kell adni a vonalvastagság felét, ez 0,1 mm széles vonal esetén 0,05 mm.

Többféle méretarányban kiszámítottam a minimális távolságokat, és azt találtam, hogy 1:100 000 méretarányban a megadott szabályos magasságkülönbségekkel az összes lejtő ábrázolható. 1:500 000 és 1:1 000 000-nél az 50 méteres szintkülönbség már hegyvidéki és extrém lejtésű terepen szintvonalakkal nem ábrázolható. Kétmillió és két és félmillió térképen az 50 méteres szintközt csak teljesen sík, alföldi területeken érdemes használni (pl. 0–100 m rétegben) – egyébként kerülendő, valamint a 100 méteres szintközt is alföldi, dombsági területeken lehet jól ábrázolni. Öt és tízmillió térképek alföldi területein 100,

dombságoknál 200 méteres szintköz ajánlott, hegyvidéki területen maximum 500 méteres szintköz, de inkább 1000 méteres állandó szintköz alkalmazandó. Az itt ismertetett szint- vagy mélységvonalak közötti különbségek segíthetnek a rétegszínezés megválasztásában is. A minimális távolság azt az esetet feltételezi, hogy két szintvonal között mi lehet a legkisebb távolság a megadott lejtőszög esetén. A valóságban persze nagyobb távolság is lehetséges.

4.2 Magasságok és mélységek bemutatása kóttákkal és ezek generalizálása

Bármely domborzatábrázolási módszer kiegészítéseként, vagy önmagában is használhatók kótták a jellegzetes magassági vagy mélységi pontok bemutatására. A kóttált pontos ábrázolás során az adatbázisba a pont vízszintes koordinátáit, magasságát, és ha van, akkor a nevét vezetjük fel. A térképi megjelenítésük kitöltött vagy kitöltetlen pontszerű jelekkel, például körrel, háromszöggel, kereszttel, apró négyzettel vagy az előbbieket kombinációjával történhet. Minél kisebb méretarányú a térkép, annál kevesebb kóttát ábrázolunk: helyhiány miatt lehetséges csak a magassági információ megtartása, és a név elhagyása. A pontokat tartalmazó adatbázis felépítéséhez (nevek hozzáadása) mindenképpen emberi beavatkozás szükséges, ugyanígy generalizálásához is. Nagy méretarányban (úgy mint a topográfia és turistatérképeken) általában elég hely van a kótták felvételére. Baella (BAELLA ET AL 2007) bemutatott egy módszert, amellyel egy magassági pontokat tartalmazó adatbázis automatikusan generalizálható. Ehhez meg kellett határozni a pontok hierarchiáját és fontosságát, amelyet a földrajzi kontextusának elemzésével ért el, valamint előnyt élveztek azok a pontok, amelyek valamely szempontból érdekesek (pl. úton, amellyel helyezkednek el; van az adatbázisban felvett nevük; hágók vagy depressziók). Ahogy a méretarány csökken – pl. közepes méretarányú topográfiai- és autóstérképeken, már erősebben csökkentenünk kell a kótták számát. Ekkor azokat tartjuk meg, amelyeknek valamely szempontból kiemelt jelentősége van: pl. a morfológiai vagy földrajzi egység legmagasabb vagy jellegzetes pontja; a térkép témája szempontjából jelentősége van pl. turisztikai cél: kilátópont vagy egyéb népszerű terület mellett található kiemelkedés, esetleg történelmi jelentőséggel bír, mint egy hágó. Földrajzi térképeken kis méretarányban – pl. egy Magyarországot ábrázoló atlaszlap esetén – főleg az egyes tájegységek legmagasabb pontjai maradnak meg. A tengerfeneket ábrázoló részletes (navigációs) térképek esetében nagyon fontos a kiemelkedések, zátonyok, fenékhegyek jelölése.

A kótált pontokból készített adatbázis felvétele többféleképpen is történhet, ehhez kétféle módszerre teszünk javaslatot. A hagyományos módszer szerint meglévő térképi források alapján építhetünk adatbázis pl. GPS-es bejárásokból, topográfiai vagy turistatérképekről gyűjtött adatok, műholdképek, szöveges úti- vagy turistakalauzok alapján. Ekkor kimenetként többféle méretarányban érdemes gondolkodni, és a vízszintes koordináták, magasság és név mellé érdemes megjelölni egy méretarány-tartományt, amelyben megjelenik a pont.

A másik módszer, a felszintípusok morfológiai osztályozása szerint az X és Y koordináták, vagyis a fontosabb csúcsokat térinformatikai módszerrel, vagyis automatikus kiértékeléssel detektáljuk domborzatmodellből. Erre a legalkalmasabbak a szűrési módszerek vagy a terepfelszín kiértékelése Fourier-sorokkal. A magasságok és mélységek esetében azokat a pixeleket kell megkeresni, amelyek környezetében nincs magasabb, vagy alacsonyabb pont. Ezenkívül más formák, pl. lejtők, völgyformák, gerincek stb. értékelésére is alkalmasak ezek az algoritmusok (pl. GrassGIS Geomorphon 2016 – STEPINSKI ET AL. 2011, NAGY 2015). A domborzatmodellből minél kisebb a felbontása, annál kevésbé vagy egyáltalán nem nyerhető hiteles magassági információ, hiszen ekkor a pixel a lefedett terület magasságát reprezentálja. A pontok valós magasságát más forrásból kell kinyerni. Ezenkívül a nevek bevitele is manuális feladat. Az elkészült adatbázis többféle méretarányban történő alkalmazásához generalizálás szükséges. Az automatizált generalizálás történhet a részletes domborzatmodellből kivont pontok kiválogatásával (pl. előre bevitt fontosság vagy méretarány alapján), vagy ahhoz, hogy a pontadatbázis generalizálását elkerüljük, a célméretaránynak megfelelően egyszerűsített domborzatmodellben kell detektálnunk a csúcsokat. Ha a hagyományos módszerrel is dolgozunk, a morfológiai osztályozás megkönnyítheti a kótált pontok összegyűjtését és segítheti az ellenőrzést is, ugyanis megmutatja a potenciális kótákat, közelítő magassággal.

A kóták kiválasztása a vertikális generalizálás témaköréhez kapcsolódik, vagyis hogy melyik magasságokat, vagy mélységeket tartunk meg a felszín objektív bemutatása érdekében.

5. Az automatizált generalizálás a szakmai, felsőfokú oktatásban

A generalizálás a térképészet tudományának egyik fő vizsgálati területét képezte, és valószínűleg a jövőben is képezni fogja. A térképész a térkép maximális befogadóképességének ismeretében választja ki az ábrázolási módszert és az ábrázolni kívánt adatokat. Az ábrázolni kívánt adatok mennyiségét meghatározza a térkép méretaránya, célközönsége és a választott terület földrajzi adottságai, valamint a technikai feltételek (SLOCUM 2005).

A térképi generalizálás témakörében számos cikk, tanulmány és oktatási anyag látott már napvilágot. A hazai szakirodalomban talán a legfontosabb, legtöbbet „forgatott” műnek a Klinghammer–Papp-Váry szerzőpáros által írt, 1983-as kiadású Földünk tükre a térkép című könyvet nevezném (KLINGHAMMER–PAPP-VÁRY 1983). Ebben külön fejezetet szentelnek a szerzők a generalizálás leírásának. A könyvet a térképész képzés hallgatói kb. 25 évig forgatták, így időszerűvé vált annak felújítása, átdolgozása. A térképészeti oktatásában hiánypótló szakirodalomként jelent meg 2010-ben a Térképészet és geoinformatika I. című tankönyv Klinghammer István szerkesztésében (KLINGHAMMER 2010). A generalizálás elméletének leírása ebben a könyvben is jól összefoglalja a térképszerkesztés során megfogalmazott elméleti problémákat, bemutatja a generalizálás folyamatait, típusait. Az említett két tankönyvben foglaltak a „kézzel” végzett generalizálás folyamatait mutatják be. Ebben az esetben a „kézi” generalizáláson nemcsak a hagyományos eszközökkel végzett (fólia, rajztoll) térképszerkesztést értem, hanem a grafikai programokban elvégzett generalizálást is: minden olyan esetben, amelyben a térképszerkesztő végzi az egyszerűsítést, és nem a szoftver vagy valamilyen matematikai algoritmus. Az automatizált generalizálás lehetőségeit egyik kötet sem ismerteti, pedig alapvető generalizálási műveletekre már több szoftver is képes. Doktori dolgozatom itt tárgyalt részében összefoglalom és rendszerezem azokat az ismereteket, a szakirodalom azon részét, amelyet szükségesnek tartok bevezetni a generalizálás oktatásába a felsőfokú szakképzésekben. Az ELTE Informatikai Karának térképész alap- és mesterképzésében törekszünk arra, hogy a hallgatók megismerkedhessenek az új módszerekkel, szoftveres lehetőségekkel is.

A témához megemlíteném, hogy a magyar felsőoktatási intézményekben szinte mindenhol született a generalizálás témakörét tárgyaló vagy legalábbis érintő könyv vagy jegyzet. Tartalmukban azonban ezek megegyeznek a korábban említett művekkel. A teljesség igénye nélkül néhányat említek ezek közülük:

- Sümeghy Zoltán – Unger János – Gál Tamás: Térképészet. JATEPress, Szeged, 2009.
- Lóki József: Digitális tematikus térképészet (egyetemi jegyzet). Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 1999.
- Pődör Andrea: Kartográfia + Webmapping 1. A térképi általánosítás, generalizálás (egyetemi jegyzet). Nyugat-magyarországi Egyetem, Székesfehérvár, 2010.

5.1 A téma jelenléte a nemzetközi és a hazai szakirodalomban

A generalizálást talán nem túlzás a térképészet egyik leggyakrabban tanulmányozott szakterületének nevezni. Az automatizálás kutatásának témakörét a számítógépek megjelenése hívta életre. Már az 1960-as évek végen, az 1970-es évek elején (RAMER 1972, DOUGLAS–PEUCKER 1973) születtek olyan algoritmusok, amelyekkel lehetségessé vált vonallancok töréspontjai számának csökkentése. Mivel a térképeken az egyik leggyakoribb objektum a vonalas elem – hiszen a felületek is visszavezethetők vonalas objektumokra – ezért ezek futásvonalának egyszerűsítését kezdték el legkorábban tanulmányozni. Azóta folyamatosan születnek újabb és újabb algoritmusok az egyes generalizálási folyamatokra.

Az automatizált generalizálás célja az emberi munka csökkentése úgy, hogy a végeredmény a leginkább hasonlítson ahhoz, mintha a generalizálást „kézzel” végezték volna el.

Az előző kijelentést szem előtt tartva először a fontosabb nemzetközi szakirodalmi vonatkozásokat tekintem át.

A térképészet oktatására született 1999-ben a Slocum–McMaster–Kessler–Howard által, angol nyelven írt *Thematic Cartography and geographic visualization* című könyv (Tematikus kartográfia és vizualizáció). Ebben egy hosszabb fejezet foglalkozik a generalizálással (Scale and generalization: A méretarány és a generalizálás összefüggései, írta McMaster). A fejezet néhány fontos alapfogalom leírásával kezdődik (méretarány, generalizálás), majd röviden ismerteti a generalizálás történetét, és generalizálási folyamat megértését segítő modelleket fogalmaz meg. Kiemelném ebből Kilpeläinen modelljét, aki

az adatbázis alapú generalizálás ötletét már a 90-es években felvetette. Ehhez létre kell hozni egy részletes adatbázist (digitális alapadatok adatbázisa), amelyből különféle méretarányokban térképi adatbázisok vezethetők le. Ezekből a kiválasztott jelkulccsal generalizált térképeket készíthetünk (digitális kartográfiai adatbázis). A fejezet további részében a generalizálási műveleteket, szabályokat részletezi (SLOCUM 2005). Klinghammer könyveiben hét szabályt állít fel (KLINGHAMMER–PAPP-VÁRY 1983, KLINGHAMMER 2010), ezzel szemben a Slocum-féle könyvben tíz szabályt különít el a szerző. A két táblázat között párhuzamok állíthatók fel, egyes kifejezések egymást átfedik. Kivételt képez az egyszerűsítés és simítás fogalma. Ugyanis Klinghammer egyszerűsítésnek nevezi azt a folyamatot, amelyben az elem „futásvonala” vagy „körvonala” egyszerűsödik. Az angol nyelvű szakirodalomban a simítás folyamatát az automatizálás figyelembevétele miatt külön definiálják, jogosan: az egyes vonalegyszerűsítő algoritmusok többségükben vonalláncokat, vagyis polyline-okat adnak eredményül, ezeket lehet utána simítani. McMaster a könyvben két táblázatot is szentel a legfontosabb vonalegyszerűsítő és simító algoritmusok bemutatásának.

Az automatizált generalizálásban való elmélyedéshez az *Algorithmic Foundation of Multi-Scale Spatial Representation* (Különböző méretarányú térbeli ábrázolások algoritmusai) című könyv használható (LI 2007). Li összefoglalta és rendszerezte az utóbbi évek legfontosabb ismereteit. A könyv könnyen érthető és olvasmányos, mivel kevés képletet és matematikai formulát tartalmaz. Irodalomjegyzéke bőséges, értékes forrásul szolgálhat további kutatómunkához, a részletek megértéséhez.

A másik összefoglaló mű a *NCGIA Core Curriculum in GIScience*, 48. fejezete, amelynek szerzője szintén Robert McMaster. Angol változata az interneten szabadon elérhető. Ebben a fejezetben vázlatosan mutatja be a vonalegyszerűsítés legfontosabb folyamatait (Line generalization). Ennek a kiadványnak magyar fordítása is megjelent 1994-ben: a térinformatika legújabb ismereteit egységesíti, tekinti át vázlatosan. Az említett fejezetet Márton Mátyás fordította (NCGIA CORE CURRICULUM 1994).

A hazai szakirodalomban igen keveset foglalkoztak eddig a generalizálás automatizálásának gyakorlati megvalósításával. Az 1960-as évektől kezdve egyre inkább lehetősége nyílt a kartográfia művelőinek arra, hogy újra rendszeresen hozzájussanak a legújabb folyóiratokhoz, könyvekhez és térképekhez. Ebben az időben, a térségünkben Magyarország jelentette a kapcsolatot a „nyugati és keleti blokk” országai között, ennek hatására a térképészeti technológia és a kutatások gyors fejlődésnek indultak hazánkban is.

A magyar polgári térképészeti cég, a Kartográfiai Vállalat kiadványai (térképek, atlaszok és földgömbök) világszerte ismertté váltak. A külföldről beáramló tudományos munkákat és kiadványokat egyre többen olvasták, ez segítette elő a hazai kutatásokat is az automatizálás témakörében. A témakörben az ELTE Térképtudományi Tanszék gondozásában két *Studia Cartologica* (2. és 3.) kötet is megjelent. A 2. kötet Stegena Lajos szerkesztésében 1970-ben *Térképi generalizálás* címmel tanulmányokat tartalmaz. Ennek több fejezete is tartalmaz utalásokat a lehetséges automatizálásokra, egyik például a szűrőelmélet alkalmazása, amelyet korabeli gépen már Stegena is alkalmazott. Ezen kívül más generalizálási kérdésekkel is foglalkozik: mint a Töpfer-féle gyökszabály alkalmazása, a folyóvizek vízhozam szerinti generalizálása közepes és kisméretarányú térképeken, a szintvonalak generalizálása, méretarány és a névrajz összefüggései, a tematikus térképek és atlaszok generalizálásának kérdései. A *Studia Cartologica* 3. kötete 1977-ben, Stegena–Füsi–Klinghammer szerzőhármassal jelentette meg. Ebben a térképészeti folyamatának automatizálási lehetőségeit ismertetik, többnyire a korabeli mechanikus technológia példáján. Azóta az „automatizálás” kifejezés új tartalmat nyert, ezt fentebb definiáltam. Azonban ebben a kiadványban is említik már a generalizálás automatizálásának műveleteit, bár inkább a jövőbeni szerepére hívják fel a figyelmünket. Mindkét kiadványból született utánnomlás változatlan tartalommal, de ezek egyikén sem szerepel a *Studia Cartologica* cím. Sajnos, ma már a kis példányszámuk miatt alig fellelhetők.

Kéziratként jelent meg a Földrajzi névtár automatizált rendszere, amelyben bemutatják egy földrajzi neveket tartalmazó adatbázis tervezetét, célját, felépítését, valamint méretaránytól függő generalizálását (FNAR 1973). Ehhez kapcsolható még a Földrajzinévtárak Magyarországon c. pályázati dolgozat, amelyben Márton Mátyás egy kísérleti, 1:25 000-es méretarányú földrajzinévtár összeállításáról ír, alkalmazva a Töpfer-féle gyökszabályt a nevek méretarányfüggő generalizálására (MÁRTON 1979). Draskovits Zsuzsanna doktori értekezésében a COMAPO felületkartogram-rendszer felépítésével és működésével foglalkozik, amelyet hazánkban elsőként használtak tematikus térképek szerkesztésére és nyomtatására. A rendszer jelentősen felgyorsította az adatok csoportokba sorolását (automatizált, ezáltal keveset hibát tartalmaz a kimenet), valamint az ODR-1304 számítógéphez kapcsolt sornyomtató segítségével a térképet hamar kézbe vehették a felhasználók (ekkor egy hagyományos nyomdatechnikai úton készült térképre akár fél évet is várni kellett, míg a COMAPO rendszerrel a feldolgozás órákra rövidült). Sajnos, a térképek grafikai minősége igen gyenge: ez fototechnikai kicsinyítéssel kismértékben

javítható volt, így a térképek csak kutatási és ellenőrzési célokra voltak alkalmasak (DRASKOVITS 1976).

A 1994-ben jelent meg a már említett NCGIA Core Curriculum magyar változata, ezt követően mindössze egy projektről van tudomásom, ez pedig a határrajz generalizálásával foglalkozott (ABDS projekt FÖMI, 1999).

5.2 Az automatizált generalizálás gyakorlati megvalósítása szoftverekben

Az utóbbi években jelentek meg generalizálási algoritmusok a térinformatikai szoftverekben. Itthon a két leggyakrabban alkalmazott szoftver az ArcGIS és a QGIS. A QGIS szabad hozzáférésű szoftver. Ebben beépítve csupán egy vonalláncok csomópontjait ritkító rutin található a haladó (Advanced Digitizing) szerkesztési funkcióknál. Azonban a szoftver erősen támogatja a felhasználók által fejlesztett modulokat. Jelenleg többféle modul is rendelkezésünkre áll: az egyiket diplomamunkája keretében ELTE-s hallgató fejlesztette (ANCSIN 2016). Az első, vonalláncok egyszerűsítésére és simítására használható modul a QGIS-ben a Generalizer volt. Emellett a Processing eszköznél elérhető a GrassGIS modul, a v.Generalize, a Generalizer „elődje”.

A Generalizer többféle algoritmust kínál, két nagy csoportra bontva: ezek az egyszerűsítés (Douglas–Peucker, Lang, Jenk, Reuman–Witkam és csomópontcsökkentő algoritmusok) és a simítás (Chaikin, Boyle „előtekintő” algoritmus, interpoláció Hermite-görbékkel, McMaster „csúsztatott” átlag és „távolsággal súlyozott” átlag algoritmus, simítás „kígyókkal” más néven a Snakes-algoritmus). A modul hátránya, hogy csak vonalas rétegeket képes feldolgozni.

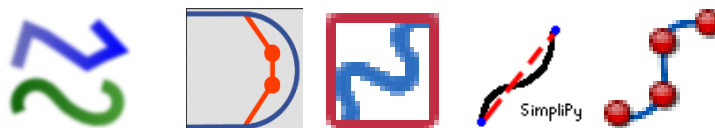
A tárházban másodikként megjelent modul a SimpliPy volt, amely képes vonalakat és felületeket is egyszerűsíteni (a Visvalingam–Whyatt és a Douglas–Peucker-algoritmussal) oly módon, hogy a topológiát is megőrizze. Ebben az esetben az egyszerűsítés után nem keletkeznek sem lyukak, sem átfedések. Sajnos, a modul működése nem tökéletes: tesztelése során többször, többféle hibával is szembesültem (pl. főleg a belső gyűrűket tartalmazó felületeknél megszakad az egyszerűsítés).

A Line Genetic Simplifier-t vonalak egyszerűsítésére fejlesztették, de használata igen komplikált, ezért nem is javaslom: nehezen érthetők a beállítandó paraméterek, nincs hozzá jól értelmezhető dokumentáció. A modul egyébként a vonalegyszerűsítést a génekhez és az

öröklődéshez hasonlítja, a paramétereiket is eszerint nevezi el. Másik hátránya, hogy az algoritmus futásideje rendkívül hosszú. Míg a Generalizer bármely algoritmusával maximum fél percen belül sikerült a vonalegyszerűsítés egy nem túl nagy méretű területen tesztelve (Mátra), itt kb. fél óra elteltével kaptam csak eredményt (GENETIC SIMPLIFIER 2014).

Mivel nem volt olyan modul, amely tökéletesen alkalmas lett volna felületek egyszerűsítésére, ezért Ancsin Attila ELTE-s programtervező informatikus hallgató mesterdiplomamunkája keretében fejlesztette a PolygonSimplifier nevű modult. Többféle vonalegyszerűsítési algoritmust is beépített, amelyekkel lehetséges a felületek topológia-megőrző generalizálása is (ANCSIN 2016).

Időrendben utolsóként töltötték fel a Cartographic Line Generalization nevű modult, amely egyaránt képes vonalak és felületek egyszerűsítésére, de a felületeknél nem őrzi meg a topológiát, ellenben a vonalegyszerűsítésnél törekszik a felületek méretének megőrzésére (elkerüli a bezáródott görbéket) (TUTIC, 2009). Ebben a modulban nem a vonalegyszerűsítő algoritmus paramétereit kell megadni, hanem a célméretarányt (CARTOLINEGEN 2016). A szerző főleg vízrajzi elemek, szintvonalak és partvonalak generalizálásához ajánlja. A modul elődje v.cartographic.line.generalization néven létezett GrassGIS környezetben.



5.1. ábra: A QGIS modulok logói: Generalizer, Polygon Simplifier, Cartographic Line Generalization, SimpliPy, Line Genetic Simplifier

Az ArcGIS Cartography toolbox Generalization modulja ennél többféle lehetőséget kínál: az egyszerűsítésnél kétféle algoritmus érhető el (Point remove – „csomópontok törlése”, amely valójában a Douglas–Peucker-algoritmus, és a Bend simplify – „ívek egyszerűsítése”, amely pedig a Wang-algoritmus), valamint a simításnál is (Bezier Interpolation – Bézier-interpoláció, amelynél Bézier-görbékkel helyettesítjük a vonalláncokat, és a Polynomial Approximation with Exponential Kernel – Polinomiális approximáció exponenciális kernellel, amelynek eredménye leginkább a Chaikin-algortmushoz hasonlít). Mindkét esetben lehetséges vonalas és felületi elemek egyszerűsítése és simítása a topológia megőrzésével (pl. nem keletkeznek lyukak és átfedések a poligonok között).

A vonalak és felületek generalizálásán kívül más algoritmusokat is megtalálhatunk: a szoftver pontcsoportokat is képes összevonni felületté (toleranciaérték: a pontok között lévő

távolság). Hasonlóan, kisebb poligonokból nagyobbakat készíthetünk úgy, hogy megvizsgáljuk a köztük lévő távolságot, ha ez kisebb, mint a megadott határérték, összeolvaszthatók. Az összeolvasztás során a program figyelembe veszi, hogy az objektumok természetes, vagy mesterséges keletkezésűek, ezáltal próbálja megtartani a morfológiai jellemzőiket. Az úthálózatok egyszerűsítésére többféle megoldást is kínál: a kétvonalas polyline-okból is készíthető egy vonal, ebben az esetben a két vonal tengelye lesz az eredmény. Az úthálózat részletessége csökkenthető a rövidebb utak elhagyásával, vagy körforgalmak is egyszerű csomópontokká egyszerűsíthetők. Az épületek egyszerűsítésére is kínál megoldást az ArcGIS (ARCGIS 2016).

A két vezető térinformatikai szoftveren túl számos eszköz létezik még az automatizált generalizálásra. A Grass GIS v.Generalize moduljából fejlesztették a QGIS Generalizer-t, ezért a vonalegyszerűsítő és simító eljárások szinte teljesen megegyeznek. A v.Generalize-ban egy hálózategyszerűsítő (Network) és egy vonalak közötti konfliktusokat (Displacement, pl. metszés, érintés) megoldó algoritmus is megtalálható (GRASSGIS 2016).

Kevésbé ismert szoftver az FME Desktop a Safe Software-től, ebben is többféle algoritmus létezik a vonalegyszerűsítésre és simításra. A szoftverből jelenleg 30 napos próbaverzió tölthető le költségmentesen (FME DESKTOP 2016). A szoftverben megtalálható egyszerűsítő algoritmusok: Douglas–Peucker, Deveau, Wang, valamint a csomópontszám csökkentése a köztük lévő távolság alapján (Thin, és Thin No Point). A különbség az utóbbi kettő között a vonal végpontjainak kezelésében mutatkozik: ha a toleranciaértéknél nagyobb a végpontok közti távolság, akkor a Thin-nél a vonalat egy ponttal helyettesíti, a Thin No Point-nál pedig a két végpontot összeköti egy egyenessel. A simító algoritmusok a következők: McMaster-féle „csúsztatott átlag” (McMaster), McMaster-féle „távolsággal súlyozott” átlag (McMaster weighted distance), simítás B-szplájnokkal (NURBfit). Egyéb, a generalizálás végrehajtása során segítséget nyújtó algoritmusok közül az egyik a vonallánc inflexiós pontjait keresi meg (Inflection Points), a másik pedig egy regressziós módszer, amely minimalizálja az ortogonális távolságokat az új vonalra (Orthogonal Distance).

Az Aexpand az Axes System terméke, amelyet kifejezetten kartográfiai generalizálásra és térképszerkesztésre fejlesztettek. Sajnos, a szoftver igen drága, mivel speciális, szűk megrendelői és felhasználói körrel rendelkezik. Előnye, hogy a fejlesztők egyedi igényeket is beépítenek a szoftverbe (AXES 2016). Néhány generalizálási példa, amely a szoftverben

elvégezhető: egymással átfedő objektumok eltolhatók, pl. párhuzamos útszakaszok, határok és utak átfedése, fasorok és utak fedése.

A kartográfiai és általános grafikai szoftverekben is lehet vonalakat generalizálni. Az OCAD utolsó verzióiban (10, 11 és 12) például görbéket lehet polyline-ná konvertálni és fordítva (OCAD 2016). A túl sok csomóponttal rendelkező görbék vertexeinek száma szintén csökkenthető (ilyenek általában szabadkézi rajzzal jönnek létre). Például a Corel Draw vektorgrafikus szoftverben a vonalak csomópontcsökkentése lehetséges.

Megemlítem itt, hogy más szoftverekben is található még generalizálási rutinok, amelyek főleg a Douglas–Peucker-algoritmust használják pl. GDAL/OGR modul Python programozási környezetben (GDAL 2016) valamint a legnépszerűbb adatbázis-kezelőkben is: PostGIS (POSTGIS 2016), SpatiaLite (SPATIALITE 2016), MySQL Spatial (MYSQL SPATIAL 2016) és az Oracle (ORACLE 2016).

A fentiekén kívül született egy webes alkalmazás is, amely segítségével vonalegyszerűsítés végezhetünk a saját adatainkon. Erre a honlapra kell feltölteni a SHP, GeoJSON, TopoJSON vagy archivált ZIP formátumú fájlokat. Az önátfedések, topológiai hibák javítása választható opció. A választható algoritmusok a következők: a Douglas–Peucker-algoritmus, a Visvalingam–Whyatt-féle hatékony területek módszere (hagyományos VW.-algoritmus) (VISVALINGAM–WHYATT 1993) és a Visvalingam–Whyatt-féle súlyozott területek (ahol túl hegyes szög helyezkedik el a vizsgált csomópontnál, ott eltávolítja a vertexet). A következő lépésben egy csúszkával állítható a generalizálás mértéke (az eredeti csomópontszám százaléka szerint), végül beállított részletességi szinten exportálható az állomány a fentebb felsorolt első három formátumban, valamint CSV-ként. Az alkalmazás előnye, hogy a beolvasott térkép megjelenik a felületen, és kicsinyíthető, valamint nagyítható is. Felületek esetén a topológia megőrzése megoldott (MAPSHAPER 2006).

5.3 Az automatizált generalizálás oktatása az ELTE-n: az eddigi eredmények

Az ELTE földtudományi alapszak térképész és geoinformatikus szakirányos hallgatóink a harmadik évben találkoznak először az automatizált generalizálással. Ekkor megismerik, az egyik legfontosabb vonalegyszerűsítési algoritmust (Douglas–Peucker), és számítási gyakorlatot is végeznek hozzá papíron. Mesterszakon a Kartográfiai szoftverek című

tantárgy keretében megismertetem őket az automatizált generalizálás elméletével, valamint a QGIS-ben és az ArcGIS-ben használható lehetőségekkel egy előadás keretében. Mivel a térképész mesterszakosok korábbi tanulmányaik során már megismerkedtek a generalizálás szabályaival, ezen felül már gyakorlati tapasztalataik is vannak, náluk elégséges ismertetni az automatizálási módszereket.

Ezen kívül az őszi félévekben (először 2014-ben, majd 2015-ben is) indítottam egy angol nyelvű kurzust, amelyet az Erasmus-programban, vagy más angol nyelvű képzések keretében érkező hallgatók vehetnek fel (Automations in cartographic generalization). Mivel többnyire földrajz (geográfus), földmérő vagy informatika szakokról érkeznek a hallgatók, a generalizálás és az automatizált generalizálás elméletének és gyakorlatának megismerése mellett a térképkészítés alapjaival is foglalkoztunk különös tekintettel a szoftverekben található adatmegjelenési funkciókra, amelyekkel egyes munkafolyamatok automatizálhatók, pl. diagramkészítés, hipszometrikus ábrázolás és domborzatárnyékolás készítése. A tárgy automatikus generalizálásra vonatkozó tananyaga 2017 őszétől beépül a Cartographic software (Kartográfiai szoftverek) c. tárgyba. Röviden összefoglalva az általam kidolgozott tematika azon része, amely az automatizált generalizáláshoz kapcsolódik a következő:

- A méretarány, a generalizálás fogalma, a generalizálás rövid története.
- Az automatizálás lényege, a generalizálás elemi folyamatai. Különbség a kézi és automatizált generalizálás között. Mikor, miért és hogyan generalizálunk?
- Generalizálás az egyes térképi elemeken: fő ismérvek, jellegzetességek.
- Vonalgeneralizálás: egyszerűsítő és simító algoritmusok és alkalmazásaik. Alapvető matematikai és programozási magyarázatok.
- Felületek generalizálása, a topológia-megőrzése.
- Pontok, pontcsoportok generalizálása.
- A generalizáltság foka.
- Domborzatmodellek típusai, jellemzőik, elérhetőségük és alkalmazásuk a térinformatikában. Generalizálási lehetőségeik.
- Gyakorlat: generalizálási gyakorlatok, mintapéldák végrehajtása ArcGIS-ben, QGIS-ben, valamint MapShaper.org-on.
- A beadandó feladat a hallgató előképzettségétől függ: földrajz (geográfus) és földmérő szakosoknak térképsorozatot kell készíteniük (térképi ábrázolás

különböző méretarányú térképeken). Informatikusoknak algoritmusok programozása a feladat.

Az eddigi visszajelzések pozitívak: a Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszéken témavezetéssel már több alap és mesterszakos dolgozat is készült, illetve készül jelen szemeszterben is az automatizált generalizálás témakörében. Kocsis Viktória és Balogh Dániel a BSc-s diplomamunkájuk keretében a QGIS és ArcGIS-ben vizsgálták meg az egyes algoritmusokat egy-egy térképi elemtípus, pl. a vízrajz és a határrajz példáján (BALOGH 2015, KOCSIS 2015). Dolgozatukban jellemezték az egyes eszközöket és algoritmusokat, majd megvizsgálták, hogyan és milyen hatékonysággal használhatók a gyakorlatban. Ancsin Attila programtervező informatikus hallgató pedig elkészítette a már említett QGIS modult (ANCSIN 2016).

6. Összefoglalás

Dolgozatom első részében a generalizálás automatizálásának problémakörét vizsgáltam a domborzatrajz példáján. A domborzatrajz létrehozásához alapanyagként az interneten szabadon hozzáférhető domborzatmodelleket használtam, amelyek felbontása alapján meghatároztam, hogy az egyes modellek mely méretarányokban használhatók. Mivel a vizsgált modellek egyben felszínmodellek, tartalmazzák a Föld felszínén elhelyezkedő objektumokat is (pl. erdőfelületek). Ezért ezekre olyan módszert dolgoztam ki, amellyel alföldi területeken magassági korrekció hajtható végre. A módszer egyszerűsített változatát vízfelszínnek simításához is felhasználtam, így azokból a nagy felületű nádasok kiszűrhetők. Ezekon kívül egyszerű, térinformatikai szoftverekben elérhető funkciókkal megvalósítottam az egész Föld felszínét tartalmazó domborzatmodellből a mélyföldek és selfek helyes ábrázolását úgy, hogy a mélyföldek ne olvadjanak bele a tengerbe.

A disszertáció további részében a horizontális generalizálás automatizálásának lehetőségeivel foglalkoztam. A magyar szakirodalomban elsőként, részletesen ismertettem és új szempontok alapján rendszereztem a vonalegyszerűsítő és simító algoritmusokat. Megvizsgáltam, hogy az egyes eljárások milyen hatékonyan, mely kombinációban alkalmazhatók izovonalak generalizálására. Az eredmények értékeléséhez szempontrendszert állítottam össze. Ezután a domborzatmodellek szűrés alapú egyszerűsítésének lehetőségeit vizsgáltam meg, és kidolgoztam egy saját, képszűrőre alapuló módszert. Ezzel megvalósítottam a vízrajz és a domborzat összehangolt generalizálását is. Megvizsgáltam, hogy az algoritmusokkal egyszerűsített domborzatrajz morfológiai jellegzetességeit mennyire lehet megőrizni vonalgeneralizálással vagy a domborzatmodell szűrésével. Ezáltal választ adtam az egyik legfontosabb kérdésre, hogy melyik módszert alkalmazzuk.

A vertikális generalizálás automatizálására készítettem egy olyan segédletet, amely tapasztalati és matematikai alapokon segítséget nyújt a megfelelő izovonalak kiválasztásában rétegszínezéses és izovonalas ábrázolás esetén is egy szabadon választott területre. Ezen kívül a kóttált pontok automatizált generalizálásának lehetőségeit is elemeztem.

Az utolsó részben a generalizálás automatizálásának hazai előzményeit gyűjtöttem össze. Vizsgáltam, hogy jelenleg az egyes térinformatikai szoftverekben mely algoritmusok

érhetőek el, ilyen módon a gyakorlatban milyen eszközökkel hajtható végre a generalizálás. Végül a módszerek oktatásba történő alkalmazását, az ELTE-n kialakított tantervét és szakirodalmát ismertettem.

Examination of cartographic generalization in multi-scale using digital elevation models

The first part of the dissertation focuses on the automation of cartographic generalization, especially on the terrain generalization. The global or semi-global digital elevation models (DEM), which are downloadable for free from the Internet, served as sources to provide the topography of maps. The term, optimal scale range was specified according to the model's resolution. As the examined DEMs are surface models, they contain various additional objects, such as forests on the Earth's surface. I implemented an algorithm, which subtracts the elevation distorting effect of forests from the DEM. With some modifications, this algorithm can also be applied to correct the water surfaces by clearing the reedy areas. Additionally, I elaborated simple methods to combine DEMs with different resolutions and to display the continental shelf areas and the continental depressions correctly.

The next chapter of my dissertation gives an overview of the knowledge about the automation of horizontal generalization of the terrain. In the Hungarian literature, I expounded and reclassified the line simplification and smoothing algorithms. I examined in detail the efficiency of each algorithm and their combinations on contour and bathymetric lines. I created an objective evaluation sheet of these line generalization methods. Furthermore, I examined the image filtering methods for DEM simplification. These manners sometimes distort the models, therefore I modified the algorithm to reduce the inconsistencies. I added the linear water elements to the modified image filtering, which process I called coordinated generalization. I studied the line generalization and the modified image filtering method on various areas to understand how they can preserve the geomorphologic characteristics. This helped to answer the central question of generalization: which method should we use at generalization?

I created a manner and an algorithm, which can help the map makers to select the appropriate contour and bathymetric lines on any area for hypsometric and bathymetric representation (vertical generalization). This is mainly based on mathematical and partially empirical ways.

In the last section, I collected the most important research papers and results in the topic of automatic generalization in Hungary. I presented the recent geoinformatics software with implemented generalization algorithms. Finally, I elaborated an outline for the teaching of automatic generalization in the curriculum of cartographers.

Hivatkozások

AGÁRDI 2014. Agárdi Norbert: Automatizálási lehetőségek a tematikus kartográfiában. Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 2014. 27–30. oldal.

AGÁRDI–UNGVÁRI–ZENTAI 2013. Agárdi Norbert–Ungvári Zsuzsanna–Zentai László: Domborzatmodellből nyert szintvonalak automatizált generalizálása. In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IV. (szerk: Lóki J.). Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2013. 37–44. oldal.

AGG 2007. The Anti-Grain Project, nyílt forráskódú C++ függvénykönyvtár.
http://www.antigrain.com/research/bezier_interpolation/index.html

AI 2007. Tinghua Ai: The drainage network extraction from contour lines for contour line generalization. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62 (2007). 93–103. oldal.

AJTAY 1969. Ajtay Ágnes: A generalizálás elvi és módszertani kérdései a közép- és kisméretarányú térképeken. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 1969. 1–47. oldal

AMANTE–EAKINS 2009. Amante, C.–B.W. Eakins: *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>

ARCGIS HYDROLOGY TOOLSET, GENERALIZATION TOOLSET 2017. <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm> <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-generalization-tools.htm>

ASTER GDEM 2011. Dave Meyer et al: Aster Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Result. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center and the Joint Japan-US ASTER Science Team, 2011.
http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/Summary_GDEM2_validation_report_final.pdf

BAELLA ET AL 2007. Blanca Baella–Jesús Palomar Vázquez–Joseph E. Pardo Pascual–Maria Pla: Spot heights generalization: deriving the relief of the Topographic Database of Catalonia at 1:25,000 from the master database. In: ICA (International Cartographic Association) Commission on Generalisation and Multiple Representation Workshop. Moszkva, Oroszország, 2007.
http://cgat.webs.upv.es/BigFiles/Blanca_ICAWorkshop.pdf

BERRY–SMITH–BENVENISTE 2007. P.A. M. Berry–R. G. Smith–J. Benveniste: Towards a new Global Digital Elevation Model. IUGG 2007 Earth: Our changing planet, Perugia, Olaszország. A konferencia ideje: 2007. július 2–13.

BODANSKY ET AL 2002. Eugene Bodansky–Alexander Gribov–Morakot Pilouk: Smoothing and compression of lines obtained by raster-to-vector conversion. In: *Lecture Notes in Computer Science: Graphics Recognition Algorithms and Applications*. Vol. 2390, 2002. 256–265. oldal.

BORKOWSKI 1999. A. Borkowski–D. Burghardt–S. Meier: A fast snakes algorithm using the tangent angle function. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 32 (Part 3-2W5), 1999. 644–650. oldal.

BORSY ET AL 1998. Borsy Zoltán (szerk.)–Jakucs László–Kerényi Attila–Mezősi Gábor–Papp Sándor–Szabó József–Székely András–Zámbó László: Általános természetföldrajz. Tankönyvkiadó Rt. Budapest, 1998. 51–61., 293–353., 448–458. oldalak.

BOUTOURA 1989. Chryssoula Boutoura: Line generalization using spectral techniques, *Cartographica* 26 (3-4), 33–48, 1989.

BOYLES 1970. A. R. Boyle: The quantised line. *Cartographic Journal* Vol: 7 (2). 1970. 91–94. oldal.

- BURSA ET AL 1999.** M. Bursa–J. Kouba–M. Kumar–A. Müller–K. Radej–S. A. True–V. Vatr–M. Vojtisková: Geoidal geopotential and world height system. In: *Studia geoph. et geod.* 43 (1999), 327–337. oldal.
- CATMULL–CLARK 1978.** E. Catmull–J. Clark: Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes. *Computer-Aided Design.* 10 (6): 350. 1978.
- CHAIKIN 1974.** George Chaikin: An algorithm for high speed curve generation. *Computer Graphics and Image Processing Vol. 3 (1974)*, 346–349. oldal.
- CURTINOT 2015.** P. Y. Curtinot: Recent development at IGN France. NMA Symposium 2015, 2nd NMA Symposium - jointly organised with EuroSDR Commission on Data Specifications. Amsterdam, Hollandia, 2015 december 3–4.
- DEVEAU 1985.** Terry J. Deveau: Reducing the number of points in a plane curve representation. In: *Auto-Carto VII.*, Washington, USA, 1985. 152–160. oldal.
- DITAB 2010.** DITAB 10 v.3 szabályzat az 1: 10 000 méretarányú állami topográfiai térképi adatbázisok aktualizálására. 2010. http://fish.fomi.hu/letoltes/nyilvanos/DITAB-10_v3_szabalyzat.pdf
- DOUGENIK 1980.** James Dougenik: Whirpool A geometric processor for polygon coverage data. In: *Auto-Carto IV.* 1980. 304–311. oldal.
- DOUGLAS–PEUCKER 1973.** David Douglas–Thomas Peucker: Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *The Canadian Cartographer* 10 (2), 1973. 112–122. oldal.
- DRASKOVITS 1976.** Draskovits Zsuzsanna: Térképi gazdasági adatszolgáltatás COMAPO módszerrel. Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 1976.
- EEA 2013.** European Environment Agency, 1” felbontású Európát lefedő felszínmodell. 2013. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem#tab-metadata>
- ELEK 2004-A.** Elek István: Domborzati modellek és a mintavételi tétel I. rész. *Geodézia és Kartográfia* 10 (2004). 21–24. oldal.
- ELEK 2004-B.** Elek István: Domborzati modellek és a mintavételi tétel II. rész. *Geodézia és Kartográfia* 11 (2004). 18–20. oldal.
- ELEK 2006.** Elek István: Bevezetés a geoinformatikába. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2006. 105–173. oldal.
- ELEK 2011.** Elek István: Adatbázisok, térképek, információs rendszerek. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2011. 69–100. oldal.
- FARKAS–KERESZTESI 2007:** Farkas Zoltán–Keresztesi Zoltán: Physical Map of South Eastern Europe. In: *South Eastern Europe in Maps* (ed. Kocsis K). Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary, 2007. 11. oldal.
- FARKAS–KERESZTESI 2008.** Farkas Zoltán–Keresztesi Zoltán: Ukraine in Europe. In: *Ukraine in Maps.* (Ed. Kocsis K, Rudenko, L, Schweitzer F) Inst. of Geography, National Academy of Sciences of Ukraine and Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences. Kyiv and Budapest, 2008. 9. oldal.
- FARR ET AL 2007.** Tom G. Farr–Paul A. Rosen–Edward Caro–Robert Crippen–Riley Duren–Scott Hensley–Michael Kobrick–Mimi Paller–Ernesto Rodriguez–Ladislav Roth–David Seal–Scott Shaffer–Joanne Shimada–Jeffrey Umland–Marian Werner–Michael Oskin–Douglas Burbank–Douglas Alsdorf: The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics* 45 (2): RG2004. 2007.
- FNAR 1973.** Földrajzi névtár automatizált rendszere. Kézirat, ELTE Térképtudományi Tanszék, Budapest, 1973.
- FÖMI, 2017.** A Földmérési és Távérzékelési Intézet honlapján elérhető DDM-ek. <http://www.fomi.hu/portal/index.php/termekeink/magassagi-adatok>

- GADM v.2.0, 2012:** Global Administrative Boundaries, v.2.0, 2012. <http://gadm.org/>
- GALLANT–READ–DOWLING 2012.** J. C. Gallant–A. M. Read–T. I. Dowling: Removal of tree offsets from SRTM and other digital surface model. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXIX-B4, 2012. XXII. ISPRS Congress, 2012.08.26–09.01., Melbourne, Ausztrália.
- GEISTHÖVEL–HURNI 2015.** Roman Geisthövel–Lorenz Hurni: Automatic rock depiction via relief-shading. In: Proceedings of 27th International Cartographic Conference, ICC 2015: 16th General Assembly, Rio de Janeiro, Brazilia, 2015.
- GRASSGIS 2016.** GrassGIS Wiki Hydrological Sciences 2016.
[https://grasswiki.osgeo.org/wiki/Hydrological_Sciences_Geomorphon_2016:](https://grasswiki.osgeo.org/wiki/Hydrological_Sciences_Geomorphon_2016)
<https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/addons/r.geomorphon.html>
- GTOPO30 1996.** GTOPO 30” felbontású globális domborzatmodell, USGS 1996.
<https://ita.cr.usgs.gov/GTOPO30>
- HOFFMANN–LOUIS 1974.** Herbert Louis–Walther Hoffmann: Landformen in Kartenbild. WesterMann, Stuttgart, Németország, 1974. 1–31. füzet.
- HOWLAND ET AL 2015.** D. Howland– R. Walters: OSGB Multi-resolution Data Programme (MRDP). NMA Symposium 2015, 2nd NMA Symposium - jointly organised with EuroSDR Commission on Data Specifications. Amszterdam, Hollandia, 2015. december 3–4.
- HUANG ET AL 2009.** Lina Huang–Lifan Fei–Jing He: Harmonic generalization based on the integrated geographic feature retrieval. In: Proceedings of SPIE Vol. 7492 74921H-1-9. 2009.
- HUNYADI 1964.** Hunyadi László: Iskolai térképeink domborzatábrázolása. Doktori értekezés, kézirat. Eötvös Loránd Tudományegyetem, 1964. 4–55. oldal.
- IMHOF 1965.** Eduard Imhof: Kartographische Geländedarstellung. Walter de Gruyter & Co. Berlin, Németország, 1965. 133–172, 346–359. oldal.
- JANKÓ 1990.** Jankó Annamária: Magyarország topográfiai térképművei 1869–1950 között. Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 1990.
- JANKÓ 2007.** Jankó Annamária: Magyarország katonai felmérései 1763–1950. A Hadtörténeti Intézet és Múzeum Könyvtára, Argumentum, Budapest, 2007. 98–99, 126–128
- JARVIS ET AL 2008.** A. Jarvis–H. I. Reuter–A. Nelson–E. Guevara: Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90 m Database. <http://srtm.csi.cgiar.org>
- JENNY ET AL 2014.** Bernhard Jenny–Jürg Gilgen–Roman Geisthövel–Brooke Marston–Lorenz Hurni: Design principles for Swiss-style rock drawing. *Cartographic Journal* Vol. 51 No. 4. 2014. 360–371. oldal.
- KÄUFERLE 2015.** D. Käuferle: New national maps for Switzerland. NMA Symposium 2015, 2nd NMA Symposium - jointly organised with EuroSDR Commission on Data Specifications. Amszterdam, Hollandia, 2015 december 3–4.
- KÉSZ 1974.** Földi Ervin (szerk.): Kartográfiai értelmező szótár. MÉM Országos Földügyi és térképészeti Hivatal, Földmérési Intézet, Budapest, 1974. 621.18,621.18a, 442.2–442.13.
- KISS PAPP 1983.** Kiss Papp Lászlóné: Kartográfia és térképsokszorosítás. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1983. 9–34. oldal.
- KLINGHAMMER–PAPP–VÁRY 1983.** Klinghammer István–Papp-Váry Árpád: Földünk tükre a térkép. Gondolat Kiadó, Budapest, 1983. Generalizálás: 184–210. oldal.
- KLINGHAMMER 2010.** Faragó Imre–Gercsák Gábor–Horváth Ildikó–Klinghammer István (szerk.)–Kovács Béla–Pápay Gyula–Szekerka József: Térképészet és geoinformatika I. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2010. 171–183 oldal.

- KLINGHAMMER 2015.** Klighammer István: A kartográfia alapjairól: a generalizálás. *Geodézia és Kartográfia*. 67. évfolyam. 2015/1-2. 7–10. oldal.
- KOCH 1960.** Koch Nándor: A tenger. In: Tasnádi Kubacska András (szerk.): A Föld. Gondolat Kiadó, Budapest, 1960. 211–239. oldal.
- KOVÁCS 2011.** Kovács Emőd: Komputergrafika–Matematikai alapok. Elektronikus jegyzet. Eszterházy Károly Főiskola, Matematikai és Informatikai Intézet, 2011. 8. fejezet: Görbék megadása, 9. fejezet: B-spline görbe és felület.
- LANG 1969.** T. Lang Rules for robot draughtsmen. *Geographic Magazine* 42 (1), 1969. 50–51. oldal.
- LEONOWICZ ET AL 2009.** Anna Leonowicz–Bernhard Jenny–Lorenz Hurni: Automatic generation of hypsometric layers for small-scale maps. *Computers and Geosciences* 35. (2009). 2074–2083. oldal.
- LI 2007.** Zhilin Li: Algorithmic Foundation of Multi-Scale Spatial Representation. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton USA, 2007. 1–25, 57–72, 91–180. oldalak.
- LYSÁK 2015.** Jakub Lysák: An algorithm for automated digital rock drawing in the style used in Czech topographic maps. *AUC Geographica* 51. No.1. 2016. 5–16. oldal.
- MAPSHAPER 2006.** Matthew Bloch–Mark Harrower: MapShaper.org: A map generalization web service. In: Proceedings of Autocarto 2006. AutoCarto 2006 Research Symposium in Vancouver, WA, USA, 2006 <http://www.cartogis.org/publications/proceedings.php?year=2006> <http://mapshaper.org/>
- MÁRKUS 2010.** Márkus Béla: Térinformatika 11. Interpoláció és domborzatmodellezés. Digitális egyetemi jegyzet, Nyugat-magyarországi Egyetem, Székesfehérvár, 2010. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TEI11/ch01s04.html
- MÁRTON 1979.** Márton Mátyás: Földrajzinév-tárak Magyarországon. MÉM-OFTH 1979. évi pályázati anyaga. Budapest, 1979. <http://lazarus.elte.hu/hun/dolgozo/marton/fnt/fnt.htm>
- MÁRTON–KÖVÁRI 1984.** Márton Mátyás–Kövári József: Az Atlanti-óceán (Ny-i és K-i rész – két mintaszelvény): A Kartográfiai Vállalat 82 0013 munkaszámú "A tengerfenék-domborzat ábrázolásának vizsgálata" c. kutatás térképe. Mélységvonalas, mélységiréteg-színezésű feldolgozás 4 gömbszegmensen, egy gömbszegmens árnyékolással (summerrel). 1984.
- MÁRTON 2000.** Márton Mátyás: Atlaszkartográfia. Jegyzet. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Térképtudományi Tanszék, Budapest, 2000–2002.
- MÁRTON 2008.** Márton Mátyás: A vertikális generalizálás kérdései a kisméretarányú térképek domborzatábrázolásánál. *Geodézia és Kartográfia* 60 (8). 2008. 23–30. oldal.
- MÁRTON–REYES–HORVÁTH 2008.** Márton Mátyás–Jesús Reyes Nunez–Horváth Gergely: A szilárd földfelszín morfológikus és tachográfikus térképi ábrázolása, különös tekintettel Raisz Erwin tevékenységére. *Földrajzi Közlemények*, 2008 (1). 89–99. oldal.
- MÁRTON 2010.** Márton Mátyás: A Világtenger. MTA Doktori értekezés. Budapest, 2010. 43–80. oldal. <http://lazarus.elte.hu/hun/dolgozo/marton/dsc/dsc.pdf>
- MÁRTON 2012.** Márton Mátyás: A Világtenger kartográfus szemmel. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Informatikai Kar, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Budapest, 2012. 111–174. oldal.
- MSZ 7772-1 1997.** Magyar Szabvány 7772-1: Digitális térképek. 1. rész: a digitális alaptérkép fogalmi modellje. Magyar Szabványügyi Testület, 1997.
- MSZ 7772-2 1997.** Magyar Szabvány 7772-1: Digitális térképek. 2. rész: az 1:10 000 méretarányú digitális topográfiai alaptérkép. Fogalmi modell. Magyar Szabványügyi Testület, 1997.
- MYSQL 2017.** MySQL Documentation, ST_Simplify: <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/spatial-convenience-functions.html>

- NAGY 2014.** Nagy Gábor: Interpolation methods for digital elevation models. In: Orosz Gábor Tamás (szerk.): 9th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas - AIS2014. Óbudai Egyetem, Székesfehérvár, Magyarország, 2014. 72–74. oldal.
- NAGY 2015.** Nagy Gábor: A terepfelszín mint függvény elemzésének lehetőségei. In: Boda J (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás VI.Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.05.28-2015.05.29. Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó, 2015. pp. 285–292. oldal.
- NCGIA CORE CURRICULUM 1994.** NCGIA Core Curriculum Térinformatikai alapismeretek. M. F. Goodchild–K. K. Kemp (eredeti szerk.), Márton Mátyás–Paksi Judit–Márkus Béla (magyarul szerk.): 48. fejezet Vonalgeneralizálás. Erdészeti és Faipari Egyetem, Földmérési és Földrendezési Főiskolai Kar, Térinformatikai Tanszék, Székesfehérvár, 1994. (48-1) – (48-10) oldal.
- OLAYA 2004.** Víctor Olaya: A gentle introduction to SAGA GIS. 2004. <http://mirror.ufs.ac.za/sagagis/SAGA%20-%20Documentation/SAGA%20Documents/SagaManual.pdf>
- OLIVEIRA DE ANDRADE 2014.** Luiz Claudio Oliveira de Andrade: Genetic algorithms application in line simplification. Posztgraduális dolgozat, University of Twente, Twente, Hollandia, 2014. <https://github.com/lcoandrade/GeneticSimplifier>
https://hub.qgis.org/attachments/7815/PGD_Genetic_Algorithms_application_to_perform_line_simplification.pdf
- ORACLE 2017.** Oracle Documentation SDO_UTIL. Simplify. https://docs.oracle.com/cd/B19306_01/appdev.102/b14255/sdo_util.htm#BJEHCBF
- PADÁNYI-GULYÁS 2013.** Padányi-Gulyás Gergely: Grass Workshop 2. rész Debreceni Térinformatikai Konferencia, 2013. Digitális tananyag. http://www.agt.bme.hu/gis/grass/grass_workshop_2.pdf
- PETERS ET AL 2013.** R. Y. Peters–H. Ledoux–B. M. Meijers: Generation and generalization of safe depth-contours for hydrographic charts using a surface-based approach. 16th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation. Drezda, Németország. 2013. augusztus 23–24.
- POSTGIS 2017.** POSTGIS ST_Simplify: http://postgis.net/docs/manual-1.4/ST_Simplify.html
- RAMER 1972.** Urs Ramer: An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves. *Computer Graphics and Image Processing*. 1 (3), 1972. 244–256. oldal.
- RÁTÓTI 1979.** Rátóti Benő: Gyakorlati térképszerkesztés, térképtervezés. Kartográfiai Vállalat, Budapest, 1979. 127–137. oldal.
- RÁTÓTI 1984.** Rátóti Benő: A felszíni vizek és a velük kapcsolatos térszíni formák térképi ábrázolásának fontosabb kérdései. Kandidátusi értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 1984. 1–136. oldal.
- REUMANN–WITKAM 1974.** K. Reumann–A. P. M. Witkam: Optimizing curve segmentation in computer graphics. In: Proceedings of International Computing Symposium, North-Holland Publishing Company. 1974. 467–472. oldal.
- RIESENFELD 1975.** R. Riesenfeld: On Chaikin's algorithm. *IEEE Computer Graphics and Applications* 4, 3 (1975), 304–310. oldal.
- ROGERS 1987.** Jr, Hartley Rogers: *Theory of Recursive Functions and Effective Computability*. The MIT Press. Cambridge, USA, 1987. 1. oldal.
- SAMSONOV 2011.** Timofey Samsonov: *Multiscale Hypsometric Mapping*. In: *Advances in Cartography and GIScience. Volume 1. Selection from ICC2011, Paris* (szerk: Anne Ruas). Springer-Verlag, Heidelberg, 2011. 497–520. oldal.
- SLOCUM 2005.** T. A. Slocum–R. B. McMaster–F. C. Kessler–H. H. Howard: Thematic Cartography and geographic visualization. Pearson Prentice Hall, USA, 2005. Chapter 6. Scale and generalization 103–120. oldal és Chapter 15. Symbolizing Topography 292–309. oldal.

SPATIALITE 2017. SpatiaLite Simplify: https://www.gaia-gis.it/spatialite-2.0/spatialite2_sql.html

STEGENA 1970. Stegena Lajos: Térképi generalizálás és a szűrőelmélet. In: Térképi generalizálás (szerk: Stegena Lajos). Kézirat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest, 1970. 22–44. és 74–84. oldal.

STEGENA–KLINGHAMMER–FÜSI 1977. Stegena Lajos–Klinghammer István–Füsi Lajos: Az automatizálás a kartográfiában II. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1977. 16–23. oldal és 42–55. oldal.

STEPINSKI ET AL 2011. Stepinski, T.–Jasiewicz, J: Geomorphons - a new approach to classification of landform, In (szerk.: T. Hengl.–I. S. Evans–J. P. Wilson– M. Gould): Proceedings of Geomorphometry 2011, Redlands, 109–112. oldal.

SZABÓ–SZABÓ 2010. Szabó Gergely–Szabó Szilárd: A Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) során nyert adatbázis pontosságának vizsgálata hazai mintaterületeken. *Geodézia és Kartográfia* 62:(3), 2010. 31–35. oldal.

SZLATKI 2001. Szlatki Katalin: A tengerhajózás térképei. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Térképtudományi Tanszék, Budapest, 2001.

SZIRMAY-KALOS 2003. Szirmay-Kalos László–Antal György–Csonka Ferenc: Háromdimenziós grafika, animáció és játékfejlesztés. Computerbooks, Budapest, 2003. 3. fejezet, 54–69. oldal.

T.1. 1976. T.1. szabályzat az 1:10 000 méretarányú földmérési topográfiai térképek felújítására az egységes országos térképrendszerben. MÉM OFTH Földmérési Főosztály, Budapest, 1976. 13–16., 21. oldalak.

T.2. 1977. T.2. szabályzat az egységes országos térképrendszer 1:25 000 és 1:100 000 méretarányú levezetett topográfiai térképeinek készítésére. MÉM OFTH Földmérési Főosztály, Budapest, 1977. 14–19. és 32–34. oldal.

T.5. 1981. T.5. Útmutató az egységes országos térképrendszer 1:25 000–1:100 000 méretarányú levezetett topográfiai térképeinek tervezéséhez. MÉM OFTH Földmérési Főosztály, Budapest, 1981. 68–75. oldal.

TUTIC 2009. Drazen Tutić–Miljenko Lapaine: Area Preserving Cartographic Line Generalization. *Cartography and Geoinformation, Vol. 8, No. 11*, 2011. 84–100. oldal.

UNGVÁRI–SZABÓ 2013. Ungvári Zsuzsanna–Szabó Renáta: Some aspects of the generalization of small-scale digital elevation models. In: Manfred F. Buchroithner (szerk.) Proceedings of the 26th International Cartographic Conference. International Cartographic Association, 2013. Paper 724.

VISVALINGAM–WHYATT 1993. Maheswari Visvalingam–James D. Whyatt: Line generalisation by repeated elimination of points. *Cartographic Journal* 30 (1). 1993. 46–51. oldal.

WANG–MÜLLER 1998. Zenshen Wang–Jean Claude Müller: Line generalization based on analysis of shape characteristics. *Cartography and Geographic Information Systems* 25 (1). 1998. 3–15. oldal.

ZENTAI 2000. Zentai László: Számítógépes térképészet. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest 2000. 13–26. oldal.

ZINK ET AL 2014. Manfred Zink–Markus Bachmann–Benjamin Brautigam–Thomas Fritz–Irena Hajnsek–Alberto Moreira–Birgit Wessel–Gerhard Krieger: TanDEM-X: The new global DEM takes shape. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine Volume: 2, Issue, June 2014.* 8

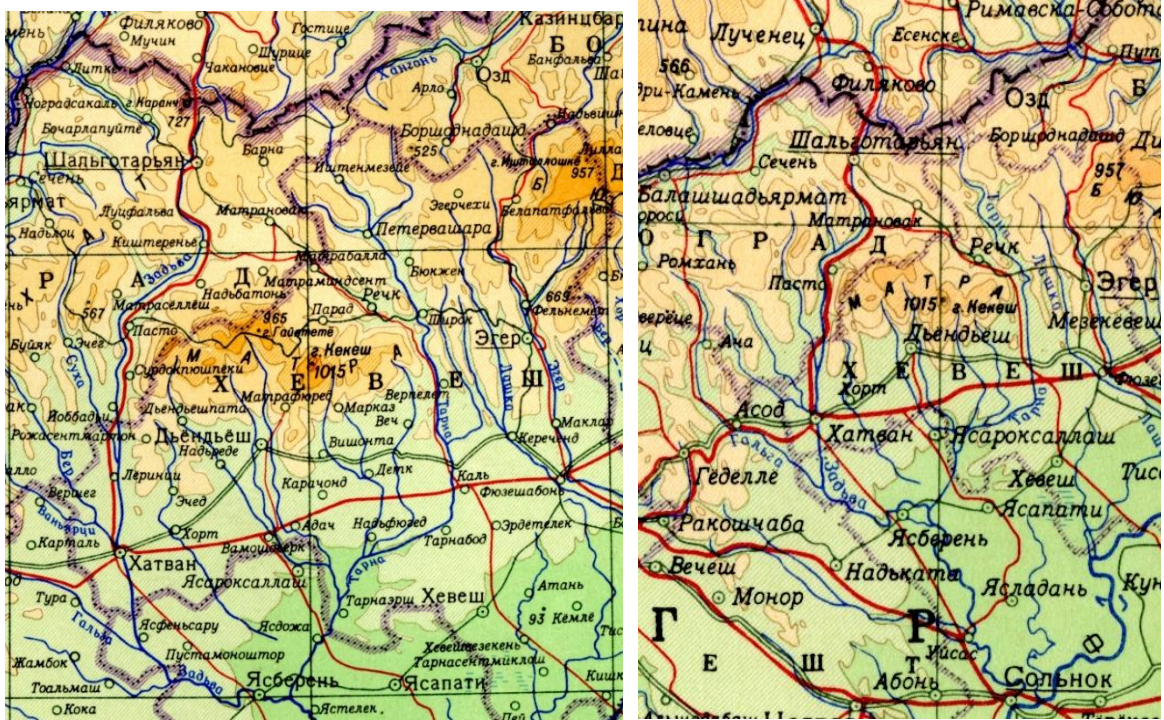
ZRÍNYI NONPROFIT KFT, 2017: A Zrínyi Nonprofit Kft. honlapja elérhető adatok: <http://shop.hmzrinyi.hu/webshop/index.php?menu=ddmleiras>

A honlapok utolsó elérése 2017.02.28.

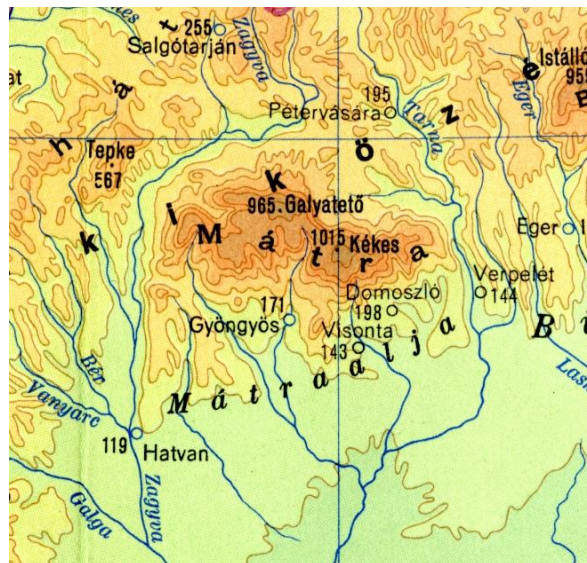
Ábrajegyzék

Az összehasonlításban felhasznált térképek jegyzéke, és a Mátrát és környezetét bemutató kivágata, kicsinyítve vagy nagyítva, nem méretarányosan:

Atlas Mira, 1967, Chief Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of USSR, 2. kiadás. 1:1 250 000 és 1:2 500 000-es



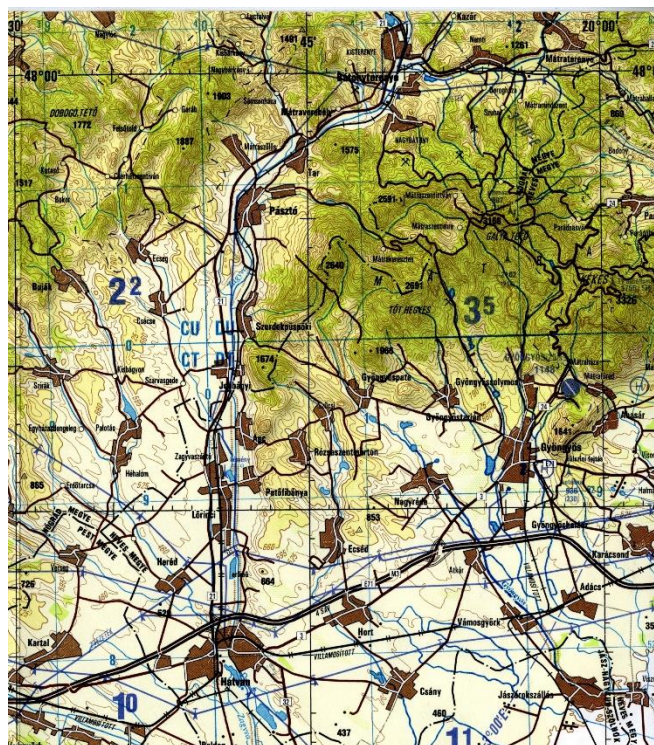
Földrajzi atlasz. Kartográfiai Vállalat, 1955. 1:1 250 000.



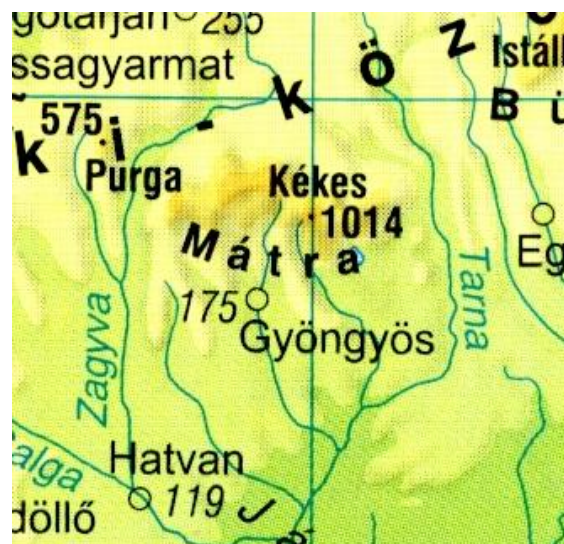
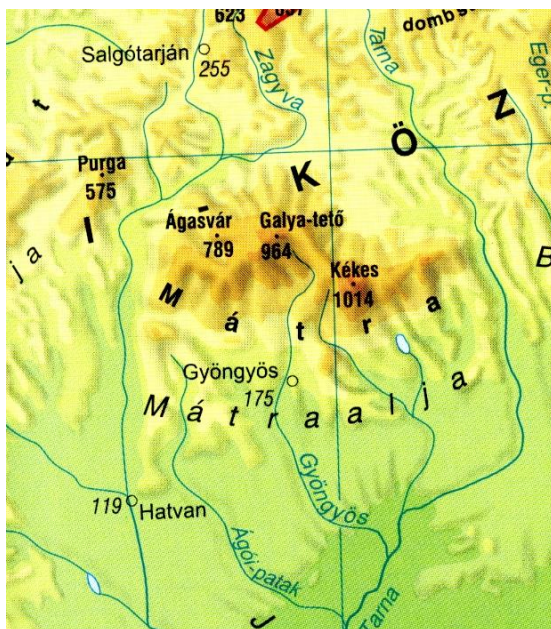
Heves megye. Com-tech kiadó, 2006. 1:150 000.



JOG Air 2002. HM Térképészeti Közhasznú Társaság–USA Nemzeti Távérzékelési és Térképészeti Hivatala (NIMA), Budapest, 2002. 1:250 000.



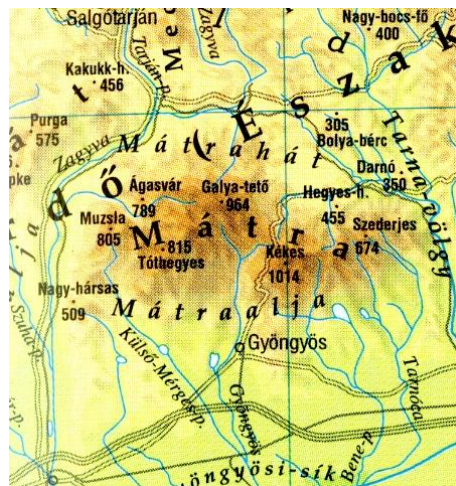
Magyarország atlasza. Cartographia Kft. 1999. 1:550 000, 1:1 100 000 és 1:2 500 000.



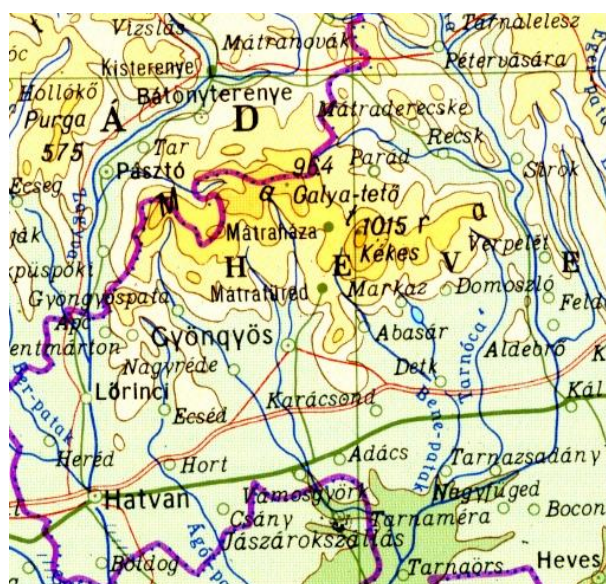
Magyarország nemzeti atlasza, Kartográfiai Vállalat 1989. 1:1 000 000



Topográf világtlasz. Topográf, 2. kiadás, 2000. 1:1 200 000.

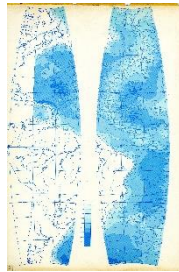


The World Atlas. Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia, 3. kiadás. 1999. 1:2 500 000.



Egyéb, a dolgozatban előforduló térképek jegyzéke:

Az óceánközépi hátság kifejező ábrázolása a 40 cm-es iskolai glóbuszon. A Kartográfiai Vállalat 82 0013 munkaszámú „A tengerfenék-domborzat ábrázolásának vizsgálata” c. kutatás térképrészlete (MÁRTON–KÖVÁRI 1984).

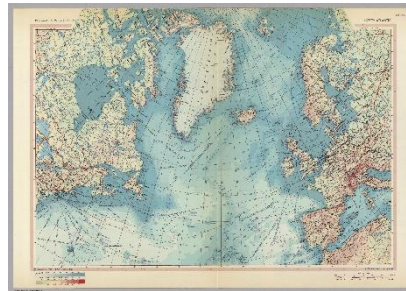


EOTR 1:100 000: 26 Kiskunhalas és 76 Gyöngyös

Gauss–Krüger 1:200 000: L-34-III Eger.

General Bathymetric Chart of the Oceans 1:10 000 000 5-06.

Pergamon World Atlas – North Atlantic Ocean 1:15 000 000 63–64. oldal (Pergamon Press PWN, Varsó, 1968) (David Rumsey Map Collection www.davidrumsey.com/)



World Maps Mariana Islands 1:2 500 000

World Maps Tbilisi 1:2 500 000

Köszönetnyilvánítás

Jelen dolgozat nem jöhetett volna létre témavezetőm, Márton Mátyás segítségével, ötletei és támogatása nélkül, aki öt éve keltette fel érdeklődésemet a téma iránt. Köszönöm Neki, hogy az elmúlt években bármikor bátran fordulhattam hozzá kérdéseimmel. Értékes tanácsai és szakmai tapasztalata mindig előmozdította munkámat: egy-egy kellemes beszélgetés alkalmával mindig újabb és újabb érdekes kérdéseket vetett fel, ezáltal segítette kutatásomat.

Ezúton szeretném megköszönni kollégáimnak a közös munkát, a szakmai és lelki támaszt, valamint a biztatást és kedvességet, amit az évek folyamán kaptam. Szeretném kiemelten megköszönni azoknak, akikkel az elmúlt években egy-egy projekt során szorosabban együttműködtünk. Különösen Agárdi Norbertnek a generalizálás témakörében végzett közös munkát, amely megalapozta a generalizálás automatizálásának vizsgálatát. Köszönöm Gede Mátyásnak, hogy már alapszakos hallgatóként beszervezett a Virtuális Glóbuszok Múzeumának munkálataiba, és hogy azóta is bátran gondol rám, ha valamilyen feladatot kell megoldani. Továbbá köszönöm, hogy szakdolgozatomnál és diplomamunkámnál is egyaránt témavezetőm volt. Irás Krisztinának a régi oktatási földrajzi eszközök témakörében végzett közös munkánkat, amelynek remélem, hogy a közeljövőben lesz még folytatása. Albert Gáspárnak a feszültségtér modellezésben végzett vizsgálódásainkat, amely során a geológia tudományába is betekintést nyerhettem. Köszönöm Gercsák Gábornak, hogy mindig szívesen segített, amikor egy-egy angolul íródott cikkemet kellett „gatyába” rázni. Értékes szakmai tanácsaival tette értékesebbé a munkám. Mészáros Jánosnak köszönöm, hogy a QGIS és open source szoftverekkel kapcsolatos kérdéseimet és panaszaimat mindig meghallgatta, valamint iránymutatást is nyújtott a problémák leküzdésére. Szakmai útmutatásai mellett hálás vagyok tanszékvezetőnknek, Zentai Lászlónak azért is, hogy részt vehettem több hazai és külföldi konferencián, ezáltal megismertessem kutatásomat a nagyvilággal. Valamint külön köszönetemet fejezem ki Neki bizalmáért, hogy 2014 szeptembere óta részt vehetek oktatóként a Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék munkájában. Remélem, hogy az eddigiekben végzett munkám megfelel elvárásainak, és a jövőben is teljesíteni tudom a kötelességeimet. Köszönöm Horváth Ildikónak, hogy mindig bizalommal fordulhattam hozzá tanácsért, továbbá készségesen segített elintézni a hivatalos ügyeket. Köszönöm Szabó Renátának a közös munkát, valamint nagyon örülök, hogy a számtalan szakmai programon együtt vehettünk részt, remélhetőleg ez a jövőben sem fog változni. Köszönöm Kiss Tündének, hogy a térképtári kutatásaimat segítette. Továbbá

köszönetemet fejezem ki az itt felsorolt tanárainknak és kollégáimnak szakmai útmutatásukért és tanácsaikért: Elek István, Györfly János, Buga László, Jesus Reyes, Kovács Béla, Szekerka József, Klinghammer István, Faragó Imre, Török Zsolt, Nemes Zoltán, Draskovits Zsuzsanna és Verebi Katalin.

Köszönettel tartozom vőlegényemnek, Nagy Gábornak szakmai tanácsaiért, és szeretetéért.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm Édesanyámnak a támogatást, biztatást és szeretetet, amit életem során kaptam tőle, és amelyet legnagyobb kincs-ként őrzök szívemben.

Melléklet

I. Az alkalmazott szoftverekről és fájlformátumokról röviden

Ebben a részben az alkalmazott szoftverek azon jellemzőit, funkcióit ismertetem, amelyeket a dolgozat anyagainak elkészítése során segítségül hívtam.

Szoftverek

Global Mapper

Sokféle raszteres, vektoros és webes formátumot képes olvasni és írni egyaránt. Megvásárolható szoftver, jelenleg a Blue Marble Geographics fejleszti. A kutatásom során a vetület átalakítására, raszteres és vektoros fájlok megnyitására, megjelenítésére és írására illetve háromdimenziós vizualizációra használtam. A szoftver képes domborzatmodellekből szintvonalakat generálni meghatározott szintfelületek között egyenközűen vagy a felhasználó által kijelölt magasságok és mélységeknél. Továbbá lehetséges a létrejövő szintvonalak részletességének állítása. A vektoros adatok stílusa definiálható, illetve létrehozható saját rétegszínezés (folytonos, vagy lépcsőzetes). A summer esetén a beérkező fény iránya és magassági szöge állítható.

ArcGIS

Az ESRI által fejlesztett piacvezető térinformatikai szoftver. Hasonlóan a Global Mapperhez az ArcGIS is képes raszteres és vektoros adatok kezelésére. Modulos felépítésű, ezekből a Cartography toolsetet használtam. Ebben a modulban automatizált generalizálásokat hajthatunk végre: vonalak és felületek egyszerűsítése és simítása, felületek összeolvasztása, pontokból halmazok képzése, épületek egyszerűsítése, utak generalizálása.

<http://desktop.arcgis.com/en/desktop/latest/tools/cartography-toolbox/an-overview-of-the-generalization-toolset.htm>

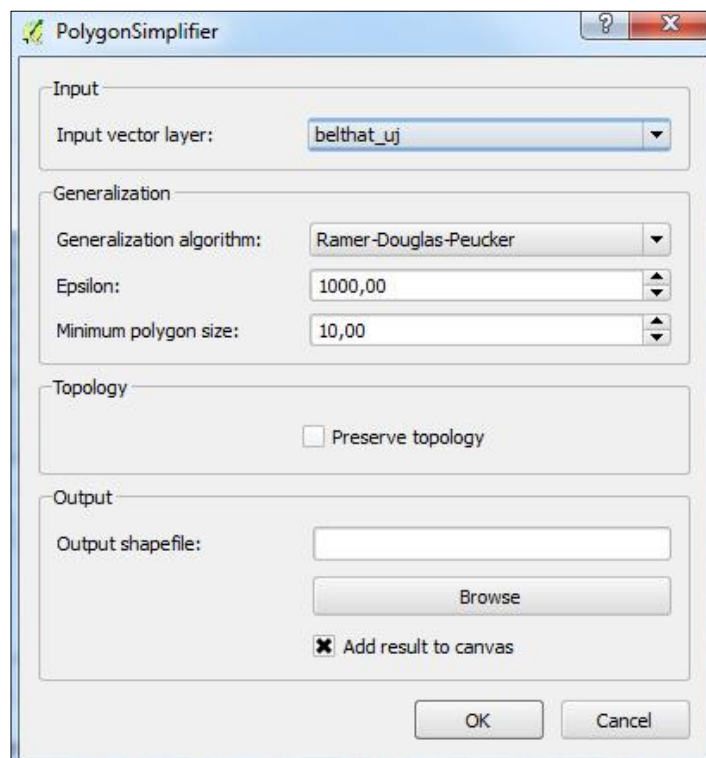
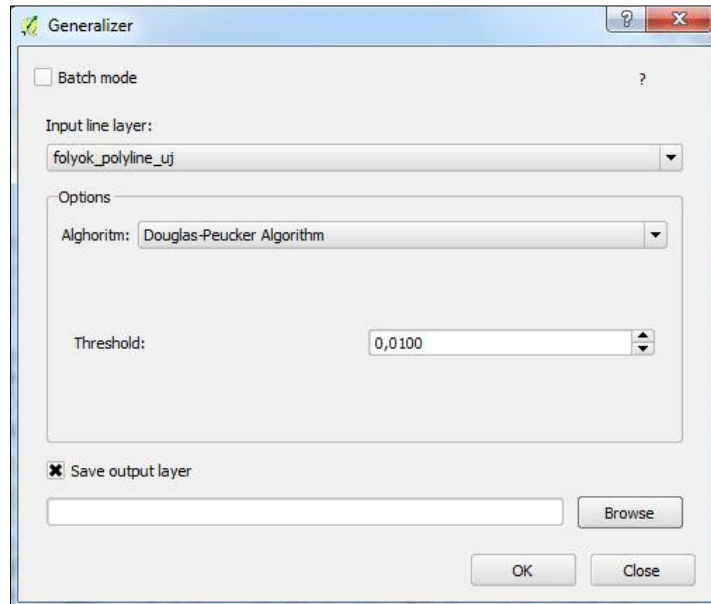
QGIS

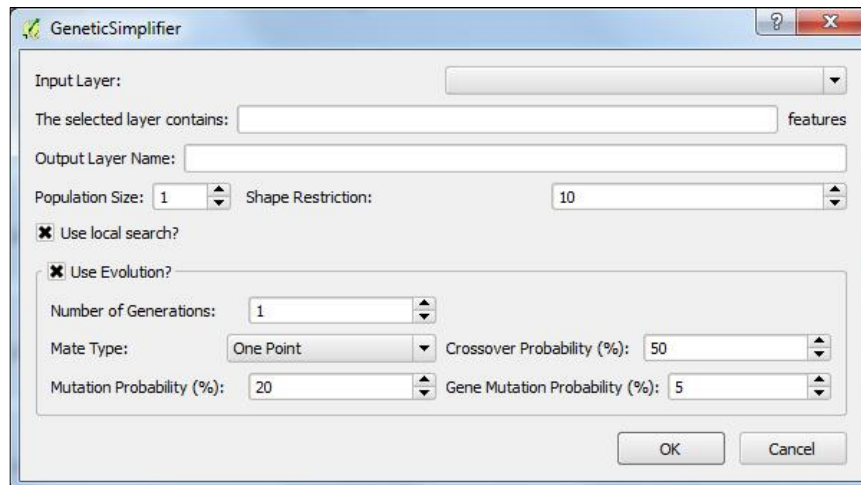
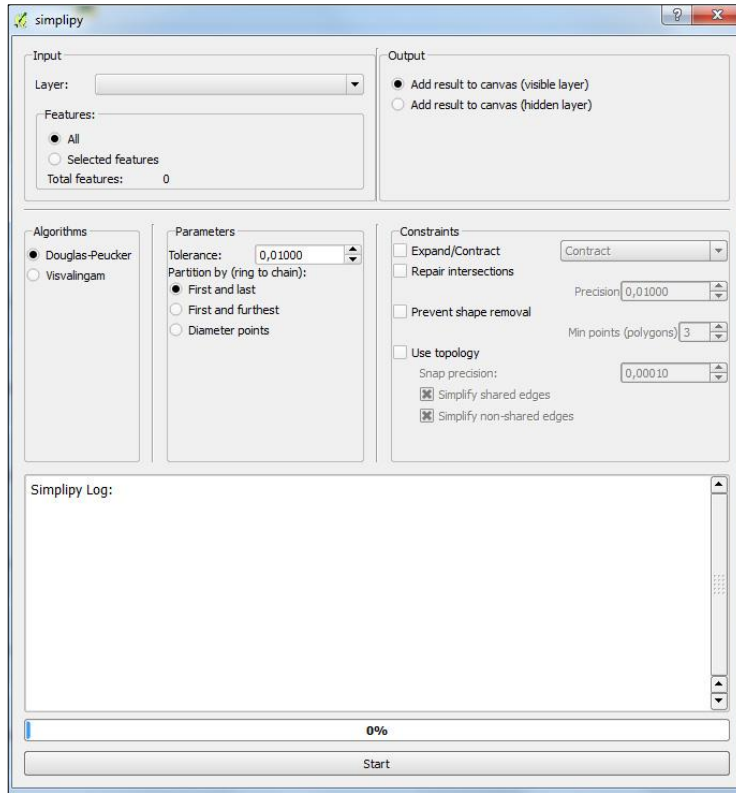
Szabadon letölthető, nyílt forráskódú, gyorsan fejlődő térinformatikai szoftver. Leginkább térbeli adatok megjelenítésre használtam. A szoftver modulos felépítésű, amelyek ingyenesen letölthetők. Többféle generalizáló modul létezik jelenleg: a Generalizer, PolygonSimplifier, Line Genetic Simplifier és a SimpliPy, Cartographic Line

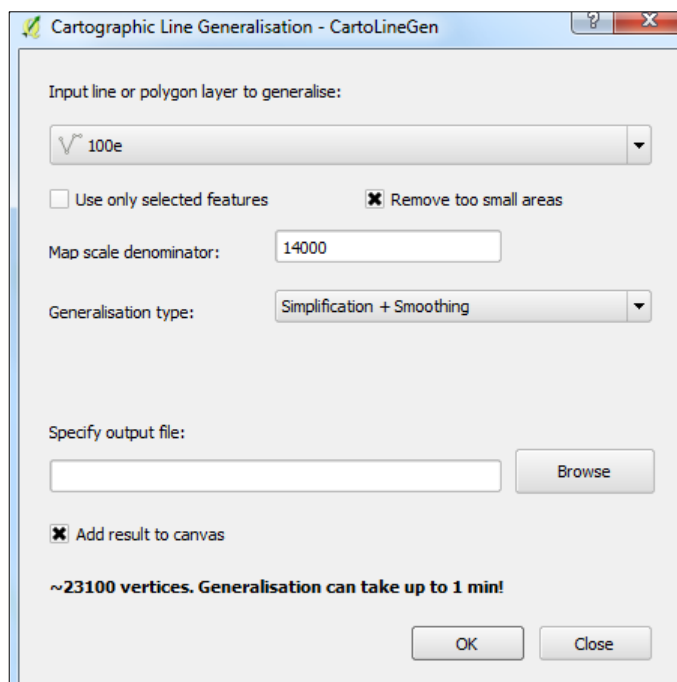
Generalization. Ezen kívül alkalmas szintvonalak generálására meghatározott alapszintközönként.

<http://qgis.org>

Az egyes modulok nézetei:







I.1. ábra: az egyes QGIS modulok paneljei, sorban: Generalizer, Polygon Simplifier, SimpliPy, Line Genertic Simplifier, Cartographic Line Generalization

Python, GDAL/OGR modul

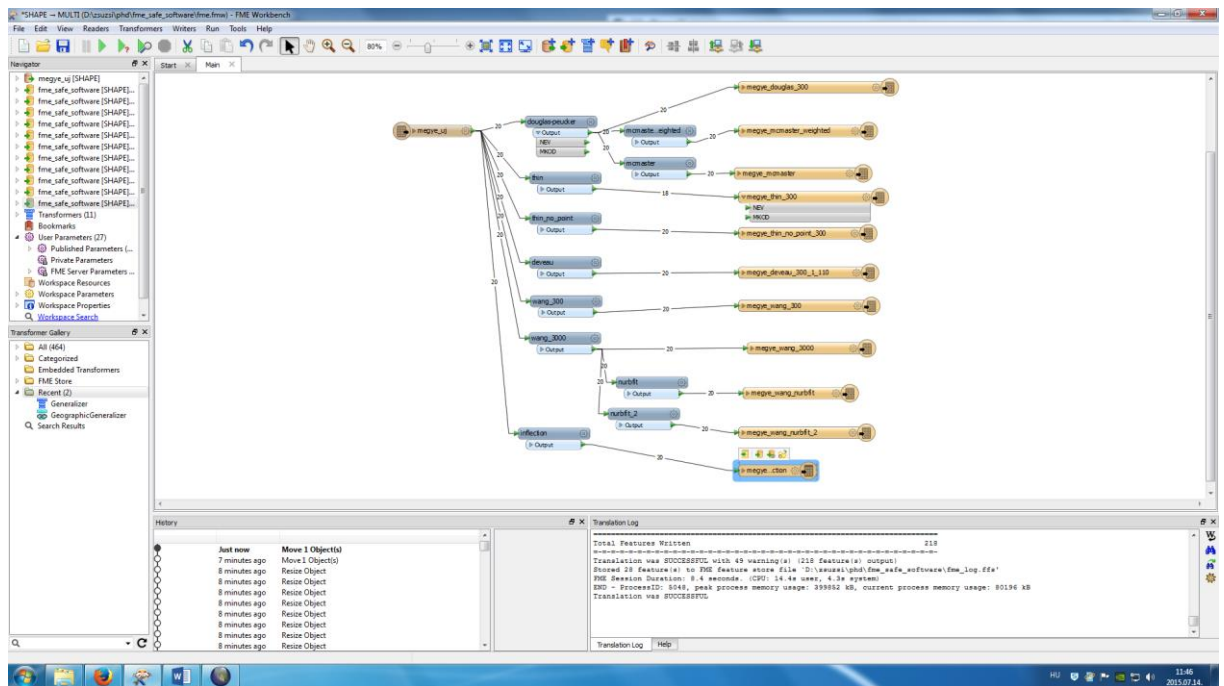
Python programozási környezetben a GDAL modul raszteres, míg az OGR modul vektoros adatok kezelését teszi lehetővé, így nem kell alapvető beolvasási, írási vagy térbeli műveleteket végző függvényeket megírni a felhasználónak. Szabadon hozzáférhető.

<http://gdal.org/python/>

FME Desktop

A Safe Software terméke, melyből 30 napos próbaverzió tölthető le ingyen. Ennek a térinformatikai szoftvernek a működése eltér az előzőektől. Az adatfeldolgozást folyamatábrákkal kell definiálni, pl. fájlbeolvasás→generalizálás (paraméterek)→új fájl készítése a generalizált adatokból. Egyszerűsítő és simító eljárásokat egyaránt találunk a generalizáló algoritmusok között.

http://www.safe.com/fme/fme-desktop/index_a.php?utm_expid=104599522-5.6ohgqbwfQxqX1uiFeVryMw.1



1.2. ábra: Az FME Desktopban folyamatábrákkal kell leírni a feldolgozás lépéseit

GRASS GIS

Az egyik első, ingyenes és nyílt forráskódú térinformatikai szoftver térbeli (raszteres és vektoros) adatok kezelésére és feldolgozására, térképkészítésre. A szoftverből a v.Generalize modult használtam a QGIS-en keresztül, ezen kívül elérhető a v.cartographic.line.generalization modul is (CARTOLINEGEN 2016).

<https://grass.osgeo.org/> és <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/v.generalize.html>

<http://wps.kartografija.hr/v.cartographic.line.generalization.html>

Fájlformátumok

Shapefile

A legismertebb, legtöbbet használt térinformatikai fájlformátum, a felsorolt szoftverek mindegyike olvassa és írja. Alapvetően háromféle altípusa van: pontot, vonalláncokat, és felületeket tartalmazhat. Mindegyik geometriai elemhez leíró adatok rendelhetők. A vonalakat, illetve a felületek körvonalát csak törött vonalként tudja tárolni (<https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>).

GeoJSON (JavaScript Object Notation)

Újabban webes környezetben alkalmazzák gyakran, előnye egyszerűségében rejlik: kiváló adatsere formátum, mert szöveges állomány. A JSON-fájlok alapvetően tulajdonság–érték párokat tárolnak. A GeoJSON-t földrajzi adatok tárolására fejlesztették ki (<http://geojson.org/>). Egy fájlban tárolhatók a pontok, vonalláncok, felületek és ezeknek csoportba foglalt változataik (MultiPoint, MultiLineString, MultiPolygon, GeometryCollection). A fájl méret az objektumok számától és bonyolultságától erősen függ.

SVG (Scalable Vector Graphics)

Vektorgrafikus, XML alapú nyílt, adatsere-formátum kétdimenziós grafikák leírására (<https://www.w3.org/Graphics/SVG>). Előnye, hogy a harmadfokú Bézier-görbét két végpontjukkal és két kontrollpontjuk megadásával tárolja.

GeoTIFF

Raszteres formátum, 24 bites változatában georeferált térképek, míg a 32 bites lebegőpontos számábrázolást használó változatában GRID típusú domborzatmodellek tárolhatók. A georeferenciára vonatkozó információk a fájl fejlécében vannak, bal felső sarok koordinátái és az x és y irányú felbontás (http://www.gdal.org/frmt_gtiff.html). A domborzatmodell esetén a pixelekben magassági adatokat tárol.

ESRI ASC

Szöveges, magassági adatok tárolására kidolgozott formátum. A fejlécben a bal alsó sarok koordinátái, a felbontás, valamint a sorok és oszlopok találhatóak, majd felsorolja a magassági adatokat. Hátránya, hogy nagy területekről, nagy felbontással nagyméretű fájlokat eredményez.

(http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp_toolref/spatial_analyst_tools/esri_ascii_raster_format.htm).

II. Programkódok és részletes folyamatleírások

Ebben a részben a dolgozatban szereplő, általam írt programkódok, vagy térbeli műveletek lépéseinek jegyzéke olvasható a CD mellékletben. A programozáshoz a Python szkriptnyelvet használtam, esetenként segítségül hívtam a GDAL és OGR modult (M: I./Python).

1. A térképi méretarány-tartományokhoz javasolt felbontást számító program

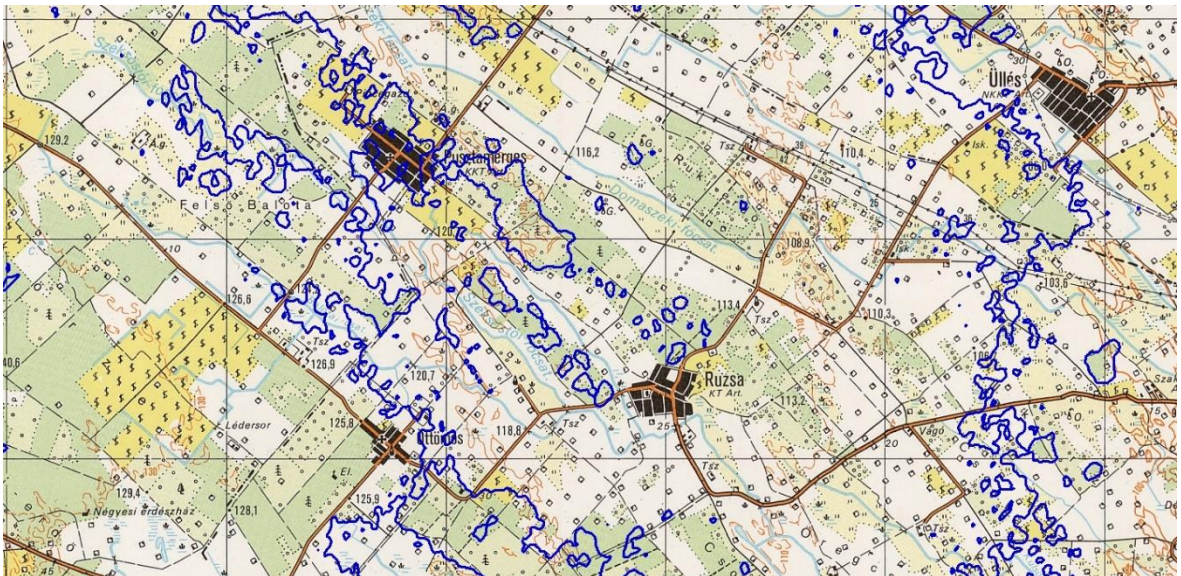
CD/optimalis_ma_felbontas mappa.

2. A felbontásokhoz javasolt méretarányt számító program

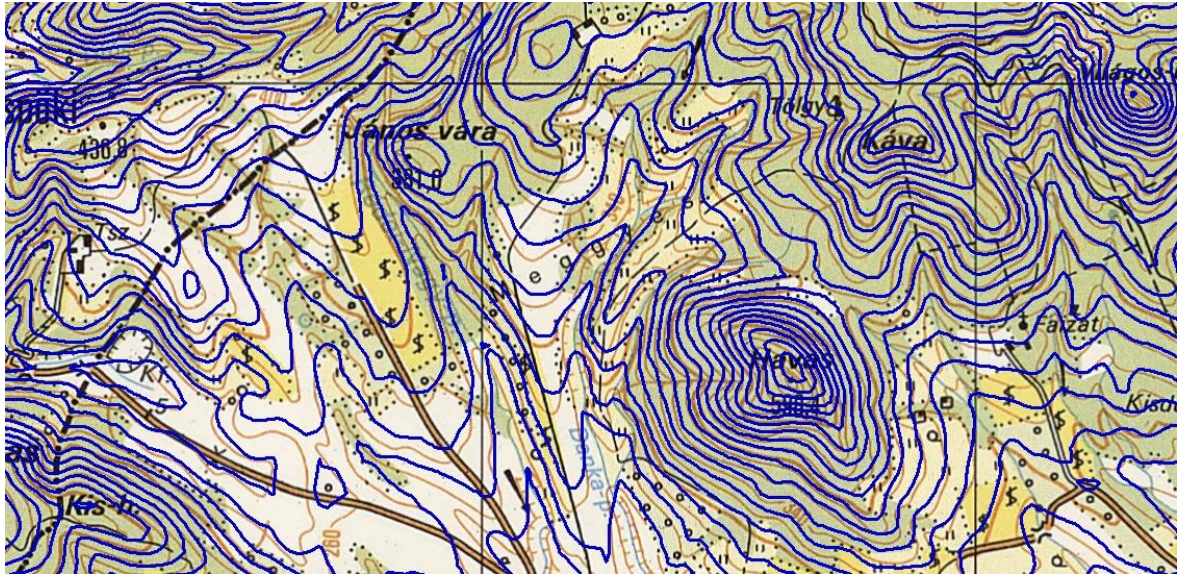
CD/felbontas mappa.

3. A térképi izovonalrajz és a domborzatmodellből térinformatikai szoftverekben generált szint- (kékkel) és mélységvonalrajz (barnával vagy magentával) összevetése

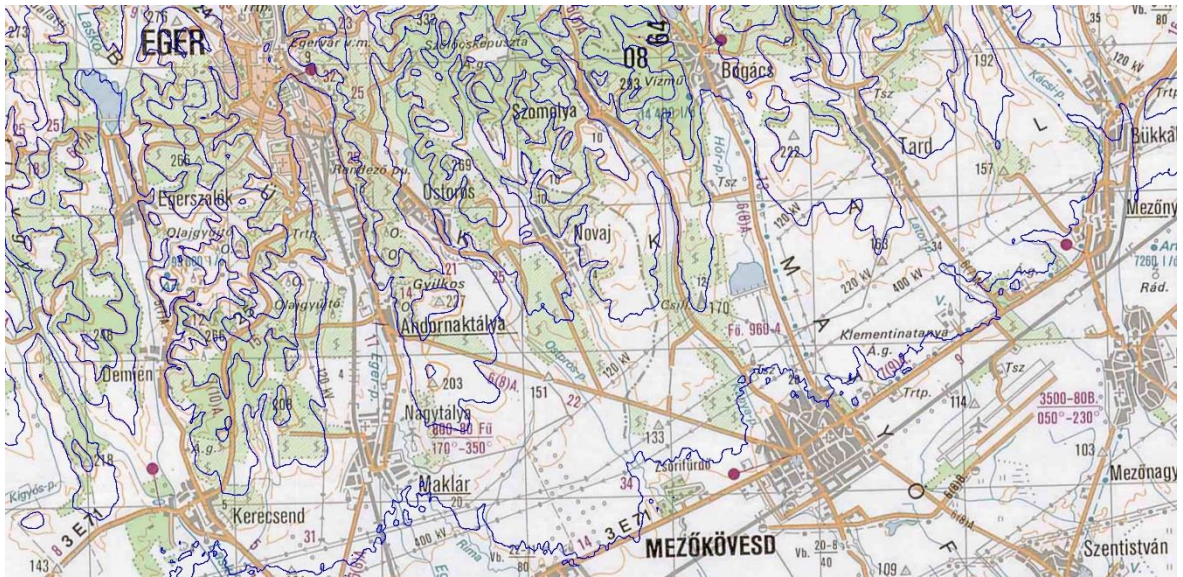
II.1. 1:100 000-es EOTR és SRTM 90 összevetése alföldi (kiskunsági) területen. A generált szintvonalak – hasonlóan az EOTR alapszintközéhez 20 méterenként (EOTR 26).



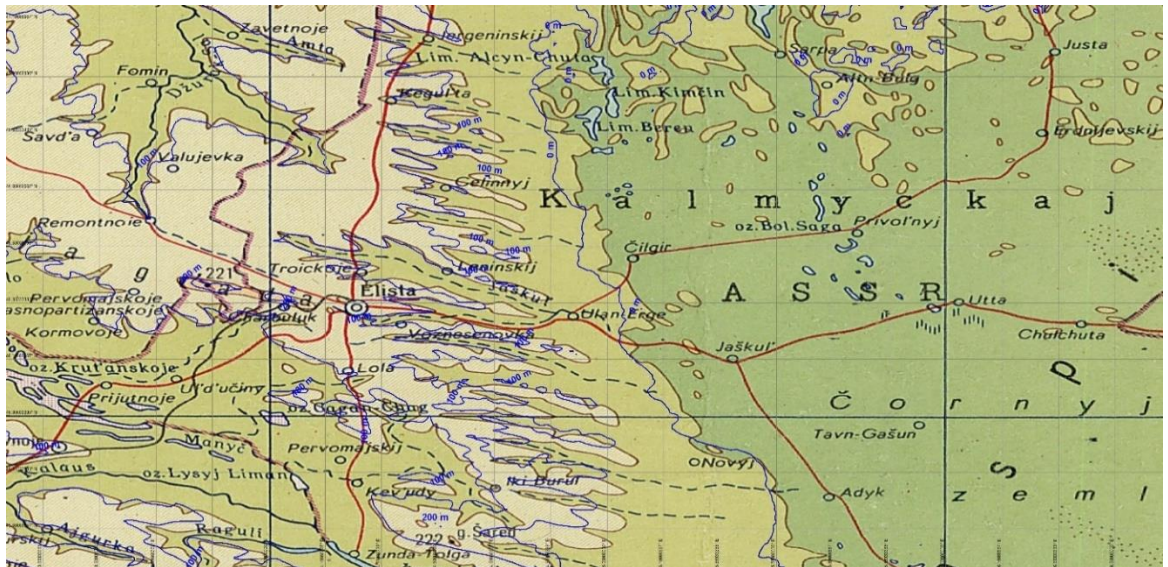
II.2. 1:100 000-es EOTR és SRTM 90 összevetése dombsági (Mátraalja) területen. A generált szintvonalak 20 méterenként (EOTR 76).



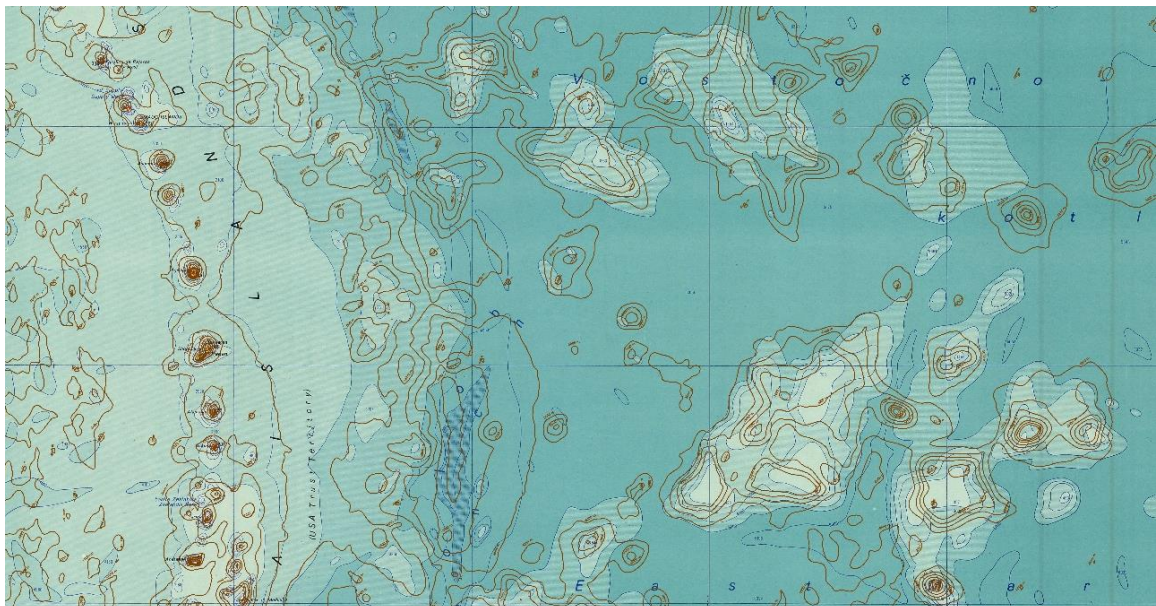
II.3. 1:200 000-es Gauss–Krüger-szelvény és SRTM 90 összevetése dombsági (Bükkalja) területen. A generált szintvonalak 20 méterenként (L-34-III).



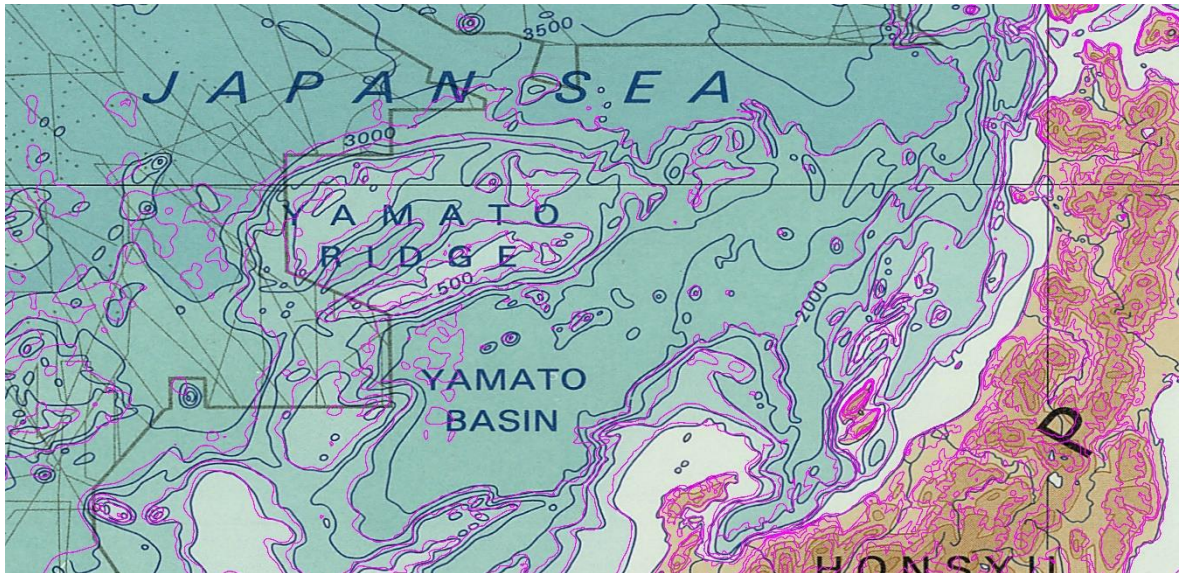
II.4. SRTM 30-ból generált szintvonalak (~ 1 km felbontás) összehasonlítása az 1:2 500 000-s Világtérkép Tbiliszi (Tbilisi) szelvényével alföldi területen. Az izovonalak sűrűsége megegyezik az eredetivel.



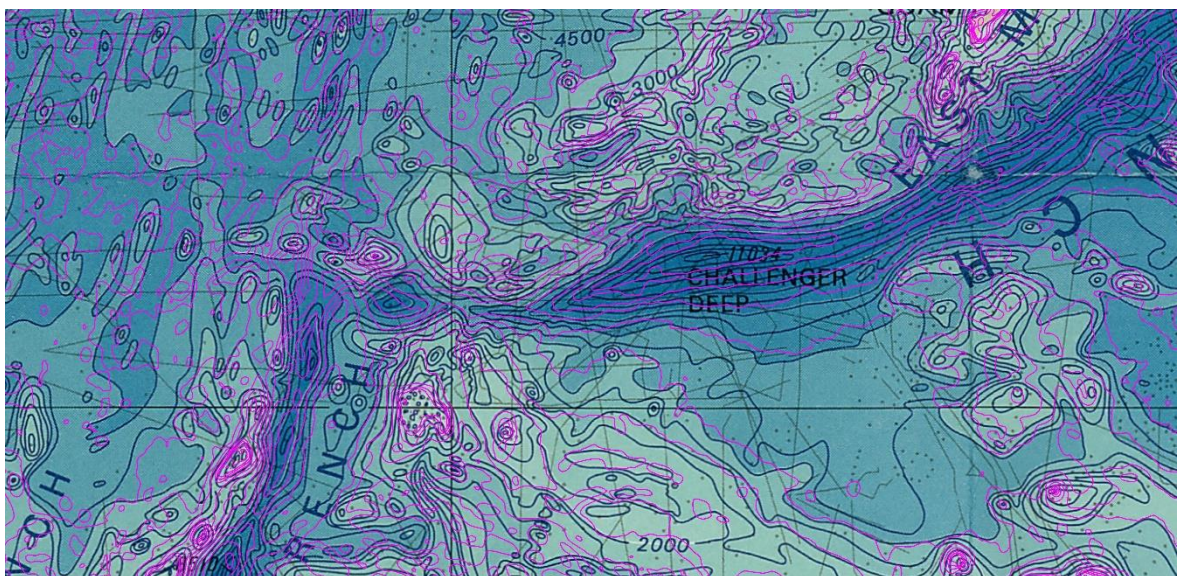
II.5. ETOPO1-ből generált mélységvonalak (barna) összehasonlítása az 1:2 500 000-s Világtérkép Mariana-szigetek (Mariana Islands) szelvényével. Megfigyelhető, hogy a Világtérképen a szigeteken a generált és a térképi szintvonalak jól követik egymást, míg a tengerfenék-domborzatot bemutató mélységvonalak igencsak pontatlanok a Világtérképen. A felvett izovonalak megegyeznek az eredetivel.



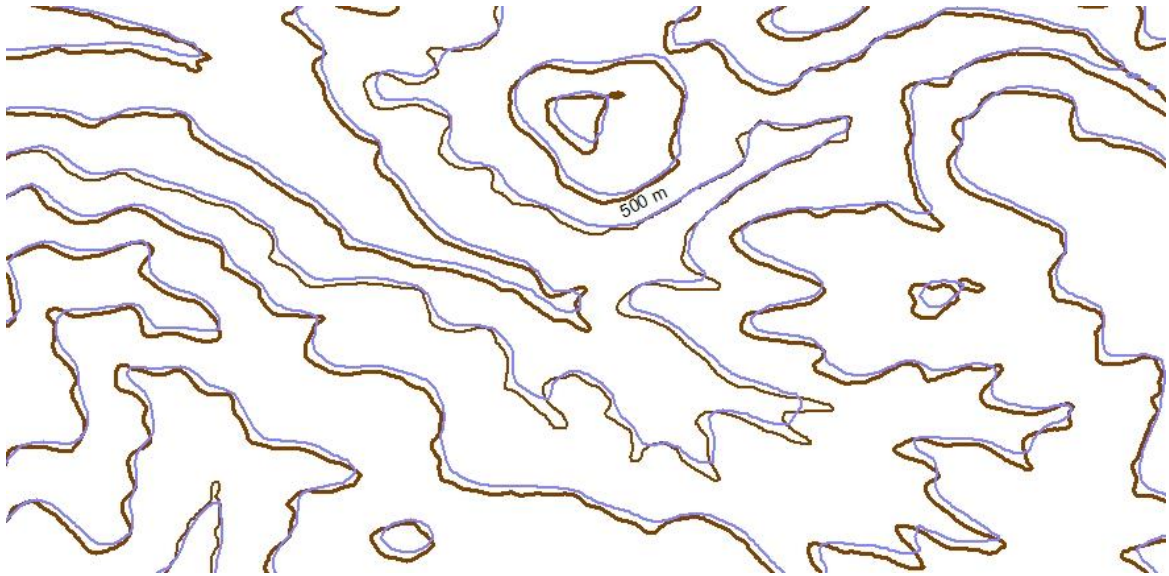
II.6. Ennél sokkal pontosabban ábrázolja a tengerfenék-domborzatot a GEBCO (5·06) térképei, annak ellenére, hogy 1:10 000 000 méretarányúak. A generált izovonalak -1000 méter alatt 1000 méteres szintközzel láthatóak, míg a GEBCO térképen 500 méterenként követik egymást.



II.7. Mélytengeri árok a GEBCO (5·06) térképén (Mariana-árok). A generált izovonalak - 1000 méter alatt 1000 méteres szintközzel láthatóak, míg a GEBCO térképen 500 méterenként követik egymást.



II.8. SRTM 1" és SRTM 3" felbontású modellekből generált szintvonalak részletessége igen hasonló.



4. Különbéle felbontású domborzatmodellek kombinálása

CD/kombinalas mappa.

5. Domborzatmodellek magassági pontosságának javítása

CD/magassag_javitas mappa.

a) Erdőfelületek magasságtorzító hatásának kiszűrése síkvidéki területeken

Megjegyzések a programhoz: Minél nagyobb a terület, annál hosszabb a program futásideje. Sem a pufferzónagyűrű, sem az erdőfelületeket tartalmazó állomány nem lóghat túl a domborzatmodellen. A fájlokban a vetületnek meg kell egyeznie: négyzetes hengervetület EPSG:4326, WGS84-es alapfelületen.

b) Tavak vízfelszín-magasságának meghatározása

Megjegyzések a programhoz: Minél nagyobb a terület, annál hosszabb a program futásideje. Az erdőfelületeket tartalmazó állomány nem lóghat túl a domborzatmodellen. A fájlokban a vetületnek meg kell egyeznie: négyzetes hengervetület EPSG:4326, WGS84-es alapfelületen.

6. Szintvonalak egyszerűsítése Douglas–Peucker algoritmussal, simítás Bézier-görbékkel

CD/dp_bezier mappában.

7. Szintvonalak egyszerűsítése lineáris regresszióval, majd simítás Bézier-görbékkel

CD/linreg mappában.

8. Li–Openshaw-féle raszteres–vektoros módú egyszerűsítés

CD/li mappában.

9. Képszűrési módszerek

CD/szures mappában.

10. Módosított képszűrés összehangolt generalizálása a vízrajzzal

CD/modositott_kepszures_vizrajzzal mappában.

11. Vertikális generalizálás

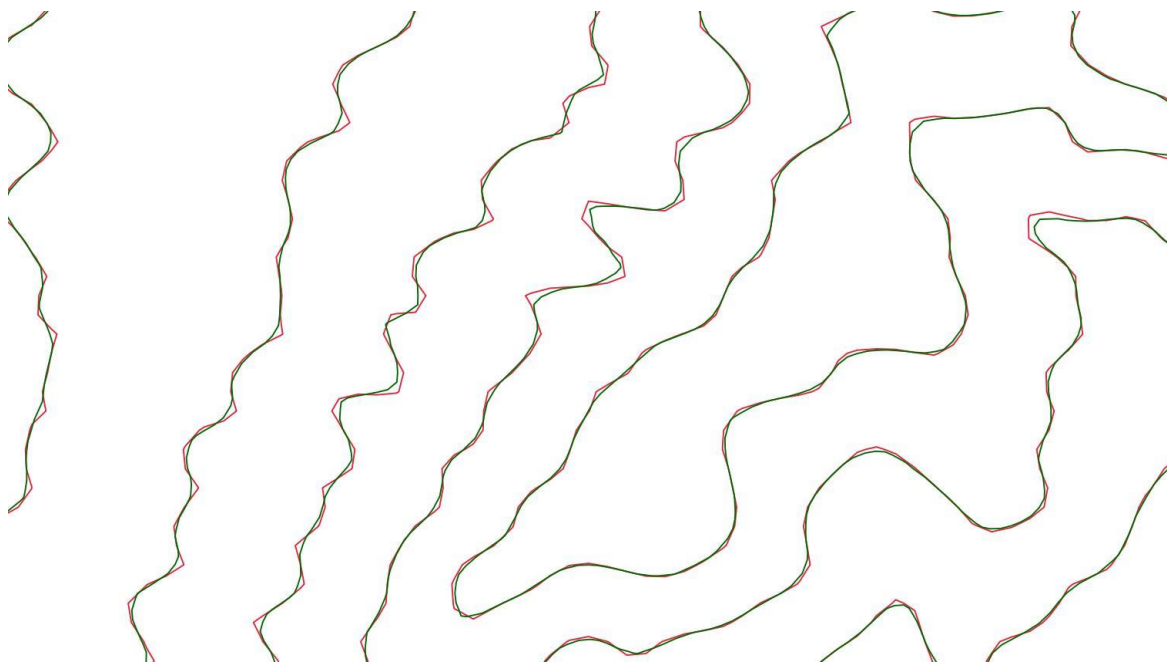
CD/vertikalis mappában.

Az itt felsorolt programkódok jelenleg és a későbbiekben is a honlapomon is elérhetők:

<http://mercator.elte.hu/~ungvarizs>

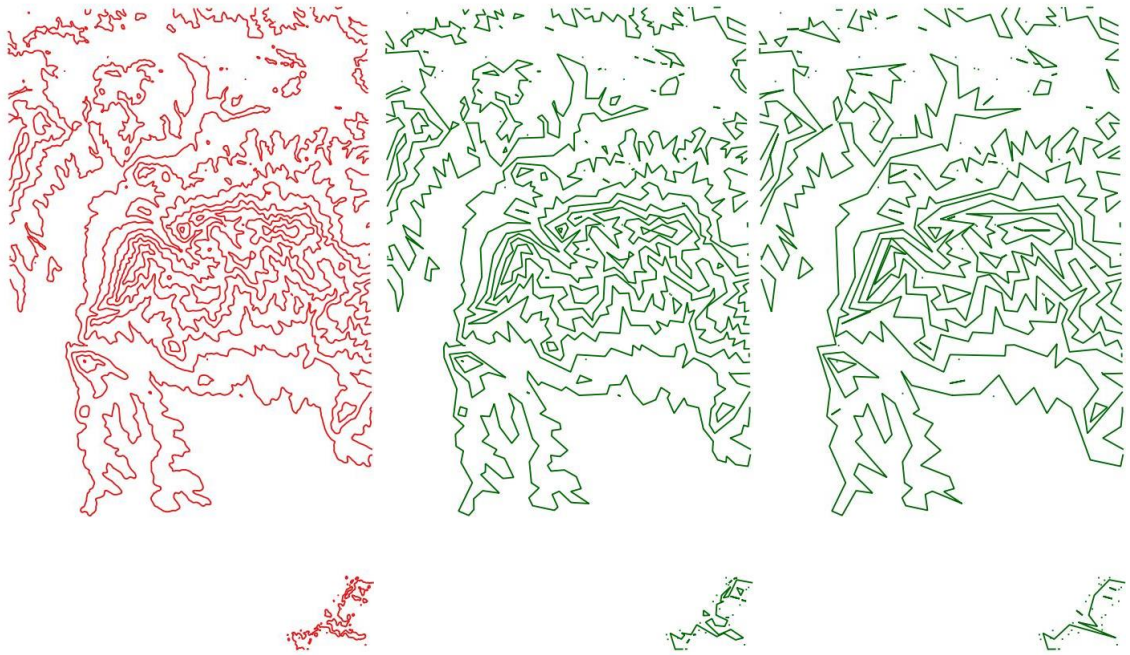
III. Szintvonalak horizontális generalizálásának alkalmazásai a gyakorlatban

1. A képen a QGIS-ben (vörös) és a Global Mapperben (zöld) automatikusan generált szintvonalakat mutatja. Lényegi eltérés nincs a kettő között (ált. 30–50 m), a Global Mapper több csomópontot használ, és lekerekíti a kanyarulatokat.

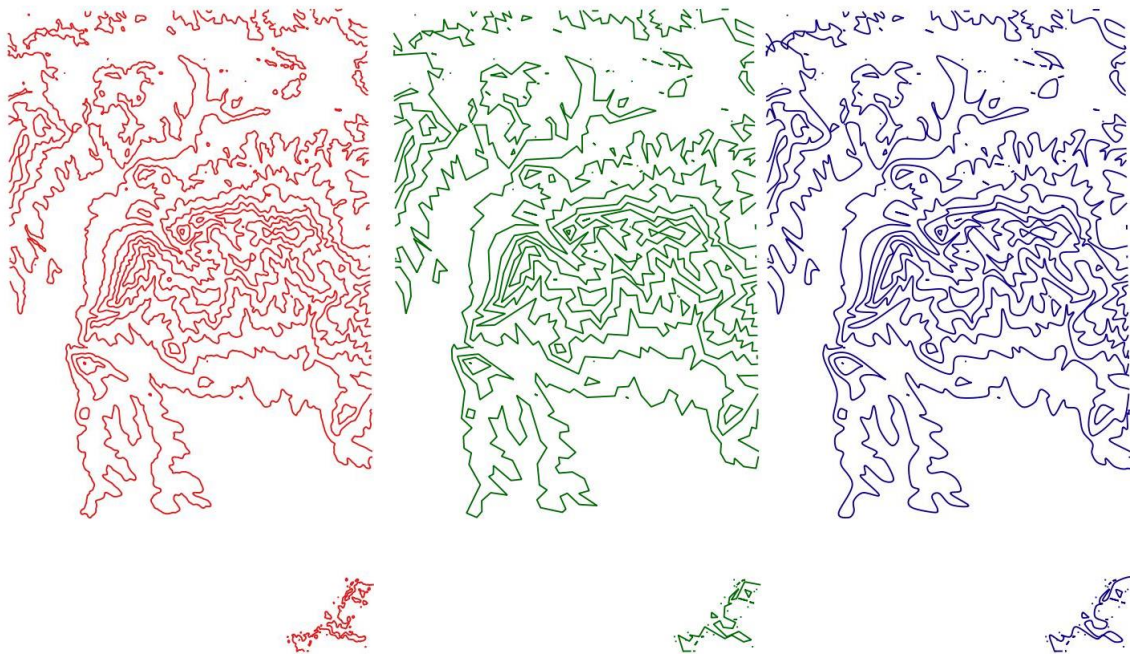


Ebben a mellékletben a 3. fejezetben tesztelt algoritmusok eredményéből mutatok be néhány példát. Ahol nem jelzem külön, a tesztállomány a Mátra egy részletét mutatja, amelyben a szintvonalköz 100 méteres, SRTM 90-ből hoztam létre, így a kiindulási méretarány kb. 1:150 000. A vetület Egységes Országos Vetület, EPSG: 23700. A horizontális generalizálás jól kivitelezhető a mintaterületen, mert a Mátrában és környezetében az alföldi, a dombsági és középhegységi jellemzők egyaránt megtalálhatók. A 100 méteres szintvonalköznél helyenként látszani fog, hogy túl sűrű, az összehasonlíthatóság miatt tartottam meg őket. A melléklet ezen fejezetében szereplő ábrákon inkább a futásirányú változásokat mutatom be, a vertikális generalizálással nem foglalkoztam. Vörös vonalakkal jelöltem mindig a kiindulási állományt.

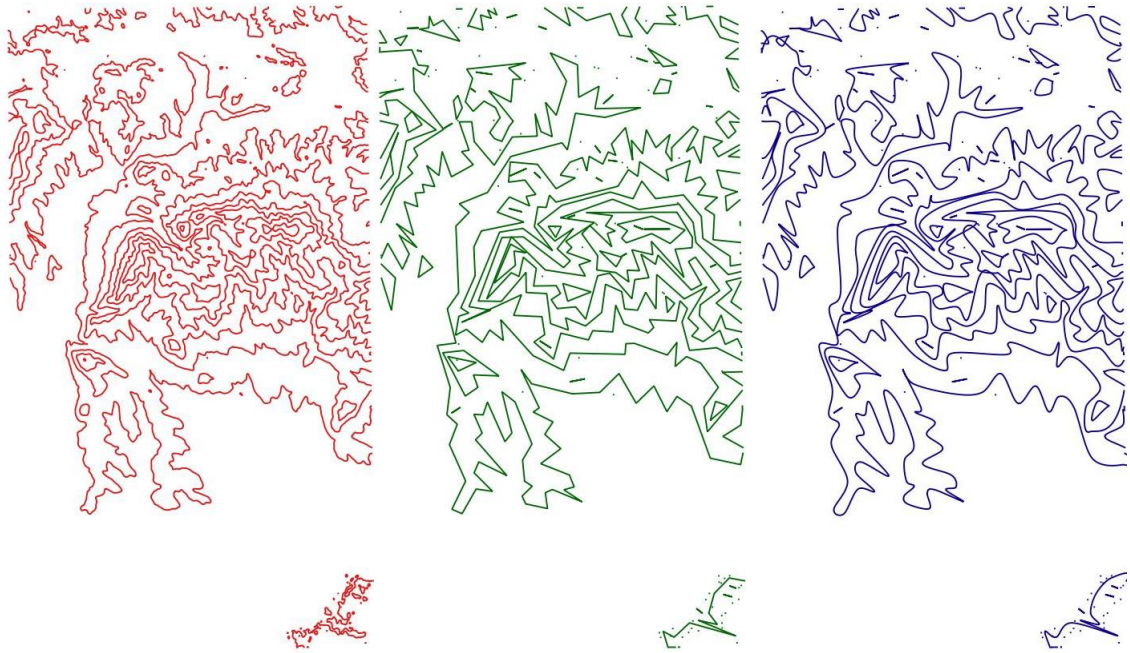
2. Egyszerűsítés a Douglas–Peucker-algoritmussal: Önmagában nem elegendő. Eredeti állomány (1), és az egyszerűsítettek: (2–3), toleranciaérték: $0,0025^\circ$ és $0,005^\circ$.



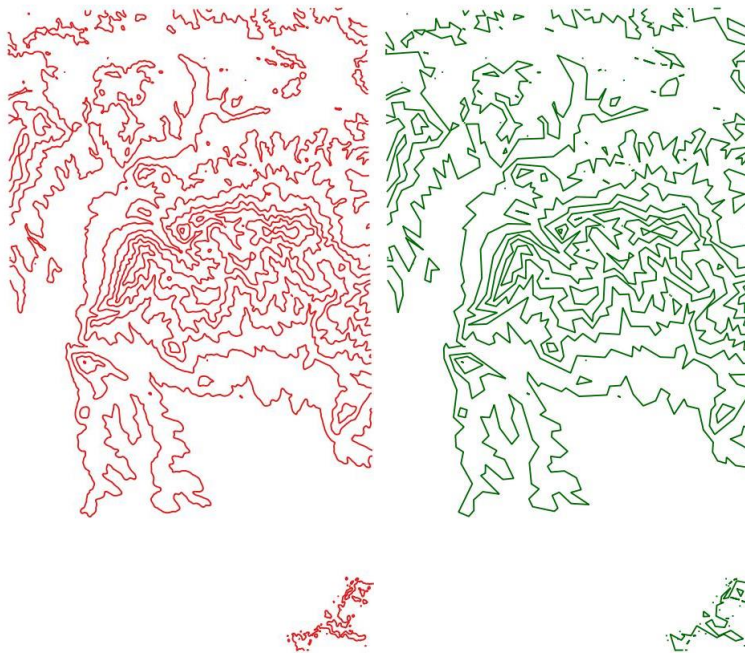
3. Egyszerűsítés a Douglas–Peucker-algoritmussal ($0,0025^\circ$), majd simítás Hermite-görbékkel. Ezen az állományon a DP-algoritmussal nagyjából ez az egyszerűsítés felső határa.



4. Egyszerűsítés a Douglas–Peucker-algoritmussal ($0,005^\circ$), majd simítás Hermite-görbékkel. Az egyszerűsítés során olyannyira lecsökkent a csomópontok száma, hogy a görbeillesztés után a szintvonalrajz képe „zavarossá” válik, túl sok javítás szükséges. A „zavarosságot” a bezárult görbék mellett, a hurkos, vagy egymáshoz túl közel került, valamint a csúcsos görbeszakaszok keltik.



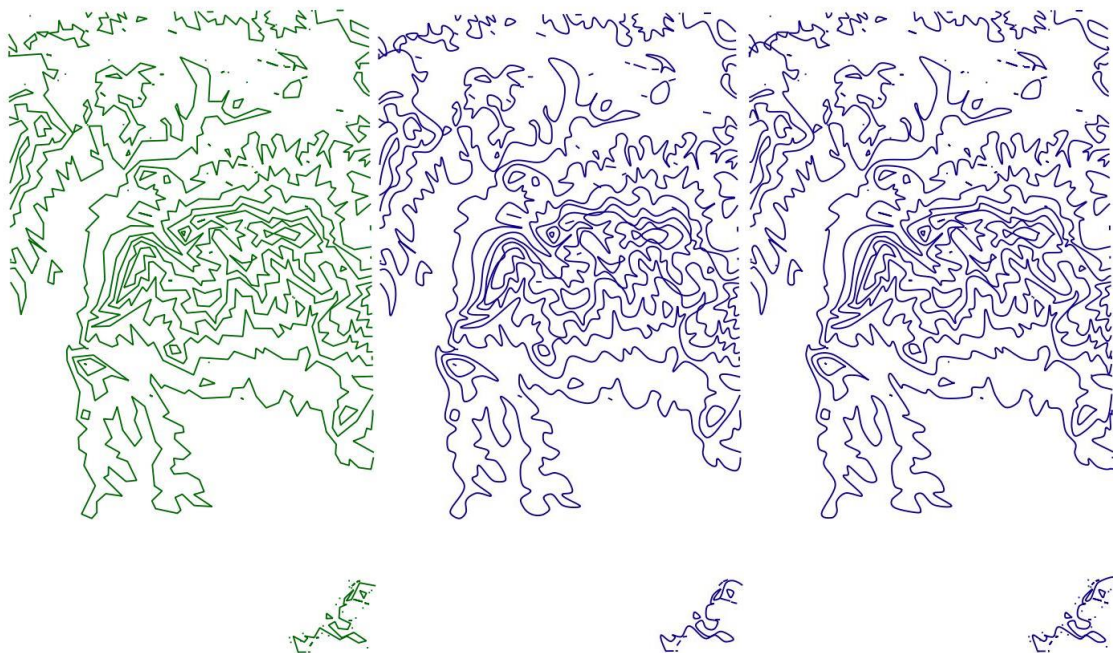
5. Egyszerűsítés a Douglas–Peucker-algoritmussal $0,0025^\circ$, majd simítás a Chaikin-algoritmussal (Háromszor ismétlem, egyszerre 3 pontot vettem figyelembe)

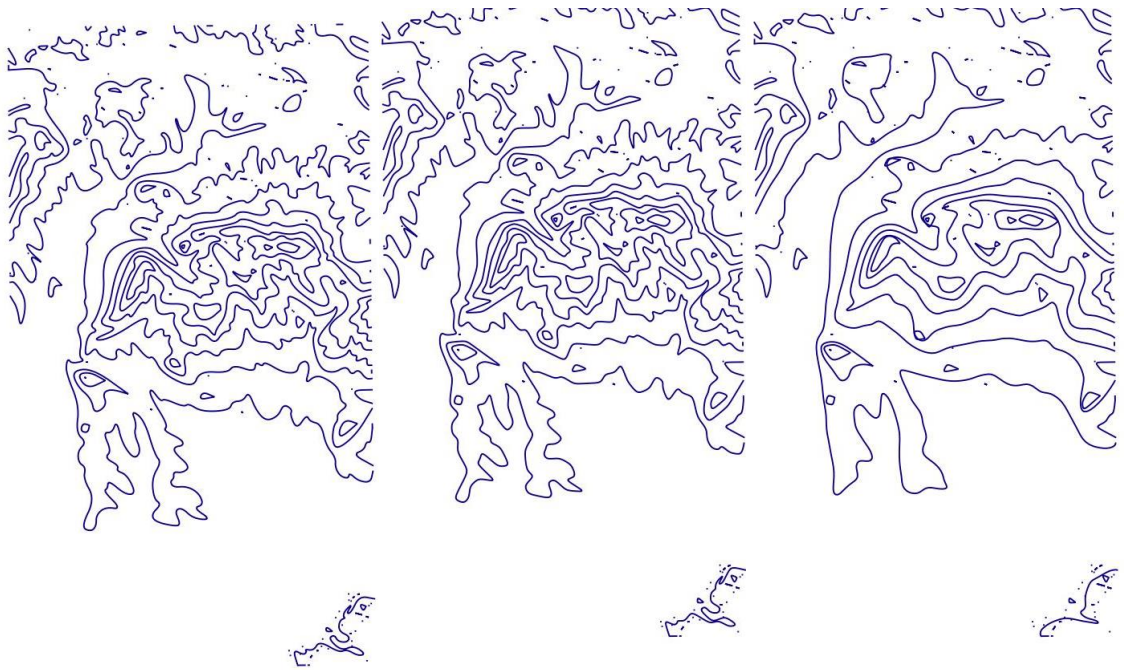


6. Egyszerűsítés a Douglas–Peucker-algoritmussal $0,005^\circ$, majd simítás a Chaikin-algoritmussal (Háromszor ismétlem, egyszerre 3 pontot vettem figyelembe.) Ebben az esetben véleményem szerint a javítások még alkalmazhatók, jobb lett az eredmény, mint a Hermite-görbékkel való simítás után.

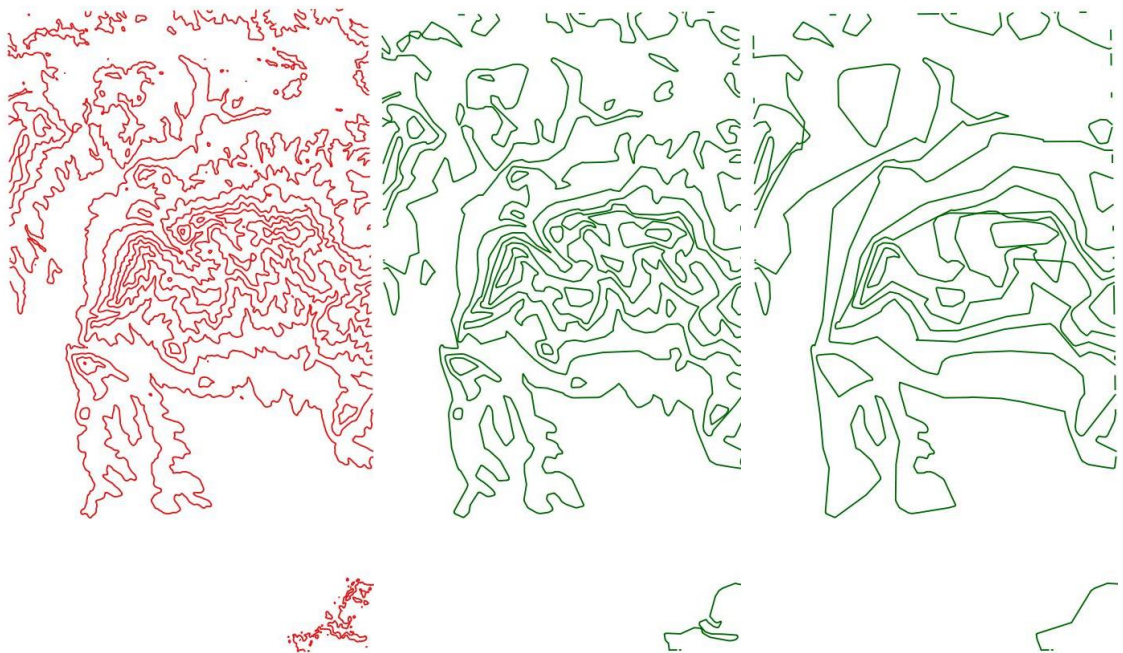


7. A Douglas–Peucker-algoritmussal egyszerűsített ($0,0025^\circ$) állomány simítása: Bézier-görbékkel, Hermite-görbékkel és a Chaikin-algoritmussal, valamint a PAEK-algoritmussal (kétféle változat: a PAEK paramétere $0,01^\circ$ és $0,05^\circ$).

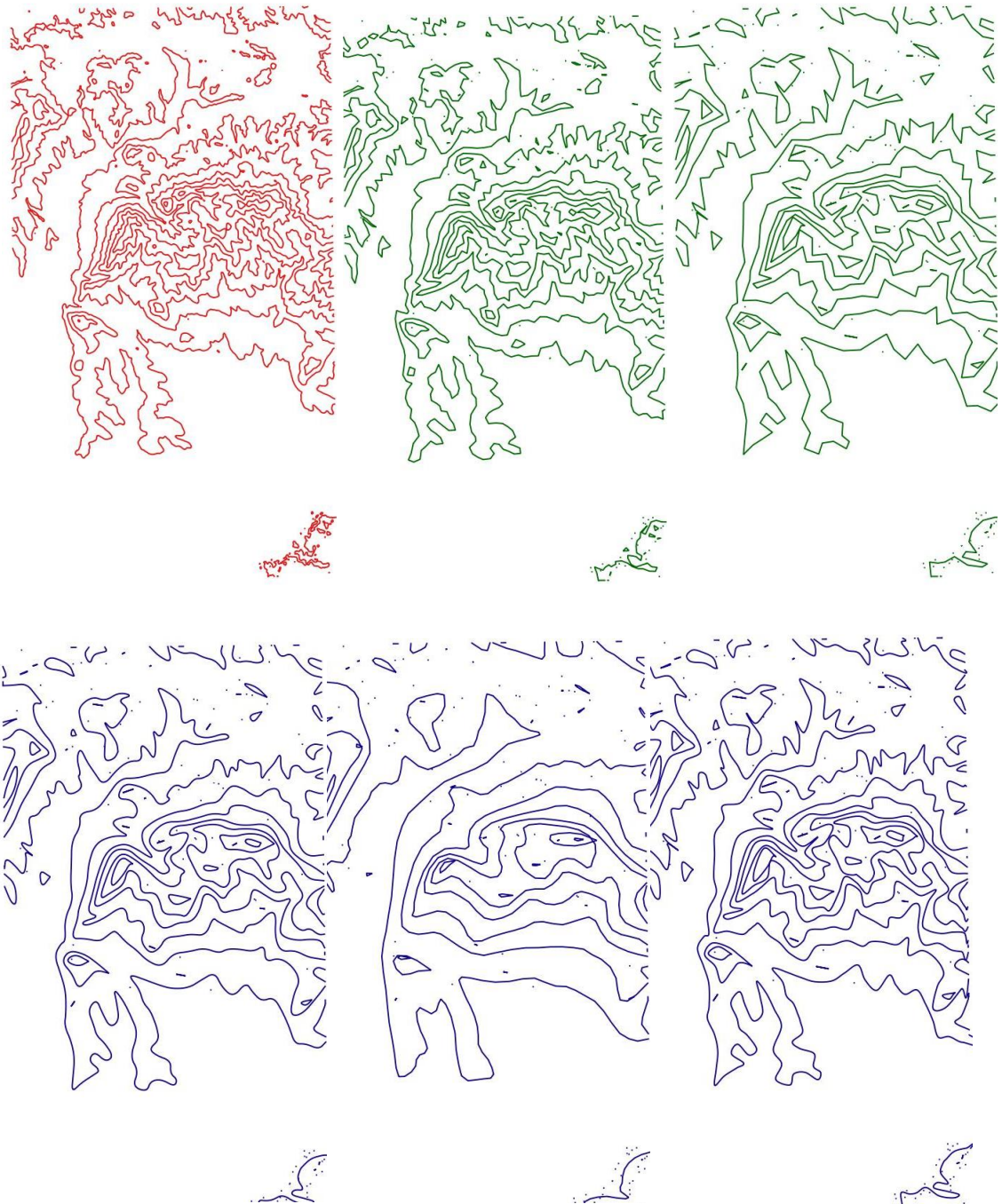




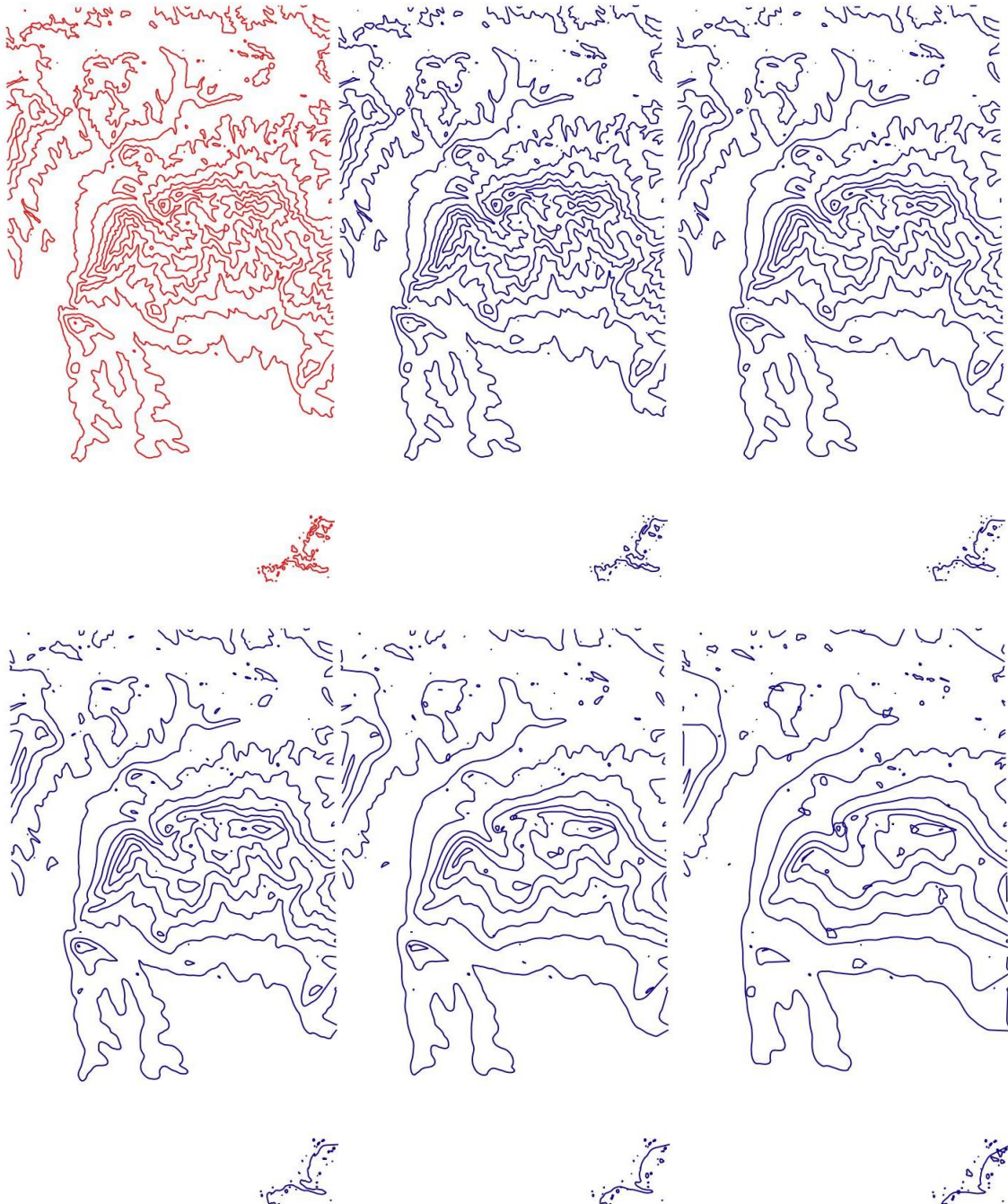
8. A Wang-féle egyszerűsítő algoritmus (bend simplify) kétféle toleranciaértékkel $0,01^\circ$ és $0,025^\circ$. Mivel az algoritmus a kisebb kanyarokat (íveket) törli, nagyobb toleranciaérték választása esetén kevésbé adja vissza a felszín jellegzetes formáit.



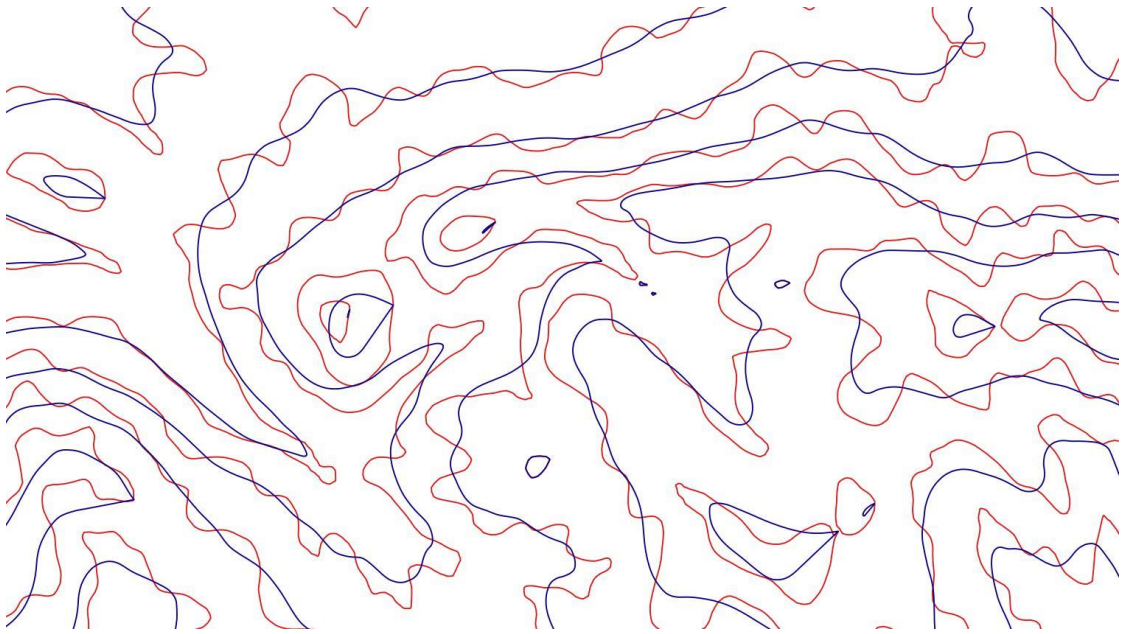
9. A Lang-algoritmussal egyszerűsített térkép, paraméterek: $0,01^\circ$ merőleges távolság és a vizsgált pontok száma: 20; és a második esetben a távolság ugyanaz, de a vizsgált pontok száma 50. A vonalak megtartották karakterisztikájukat. A második térképet simítottam is, egyszer a Chaikin-algoritmussal (3 lefutásban, 3 ponttal számol), majd a kígyókkal ($\alpha=1$, $\beta=0,5$) és végül a Hermite-görbékkel. A legjobb végeredményt a Chaikin-algoritmussal kaptam.



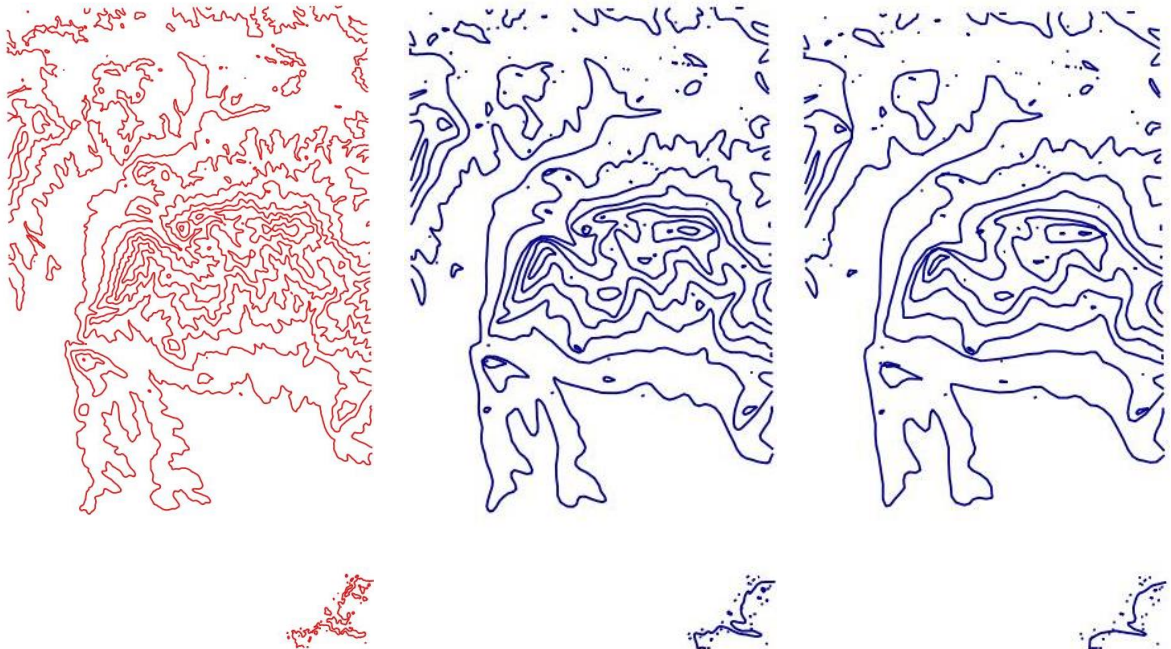
10. Simítás Boyle „előretékintő” algoritmusával. A képek nem méretarány-helyesek, toleranciaértékek rendre: eredeti kép, 7, 10, 15, 25, 50, 100. A tolerancia-érték az egyszerre figyelembe veendő pontok számát jelenti. Megfigyelhető, hogy a túl nagy tolerancia esetén, egyre több kézi javítás válik szükségessé, az adatsortól függően átgondolandó, hogy érdemes-e ezzel az algoritmussal generalizálni.



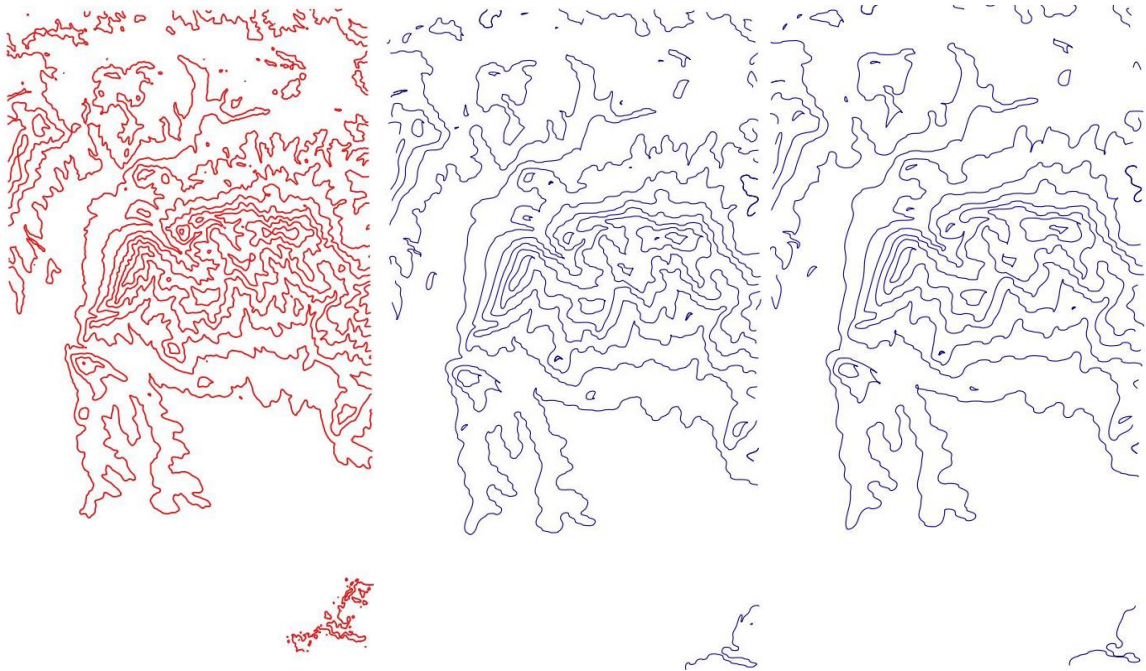
11. Simítás Boyle-algoritmussal: a vörös az eredeti, a kék a 25-nek megadott paraméter.



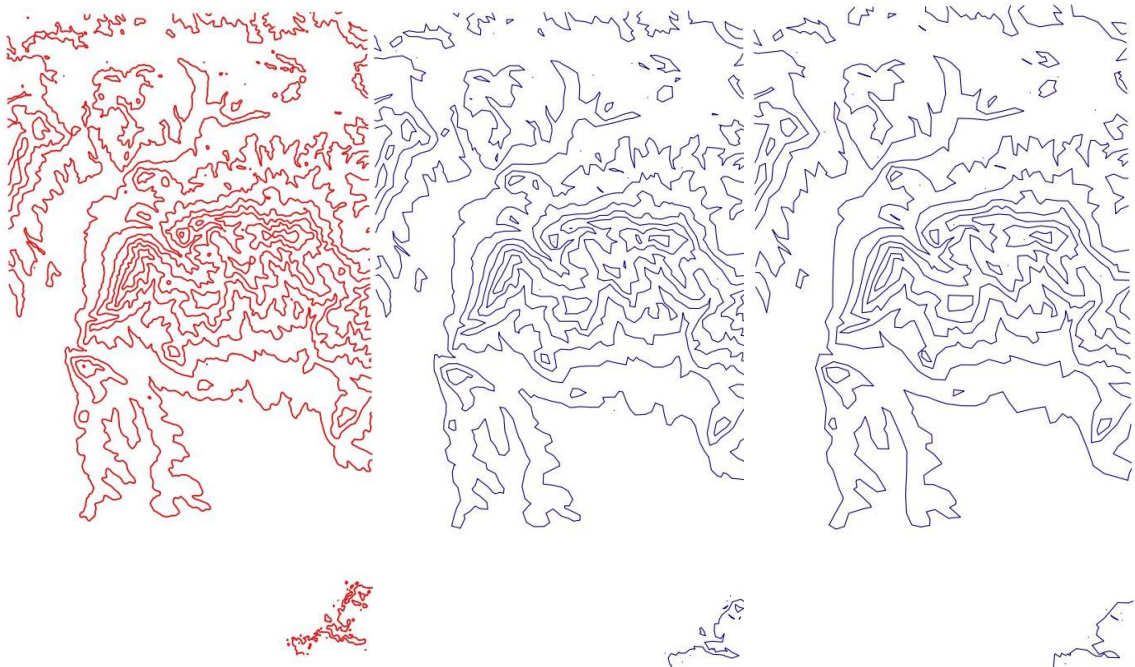
12. Simítás a „kígyók” algoritmussal. Túl nagy adatmennyiség esetén nagyon lassú az algoritmus futásideje, ezért előtte a csomópontszámot csökkentettem Douglas–Peucker-algoritmussal. Az első generalizált képen $0,001^\circ$, a másodikon $0,025^\circ$. A kígyók paraméterei mindkét esetben $\alpha=1$, $\beta=0,5$.



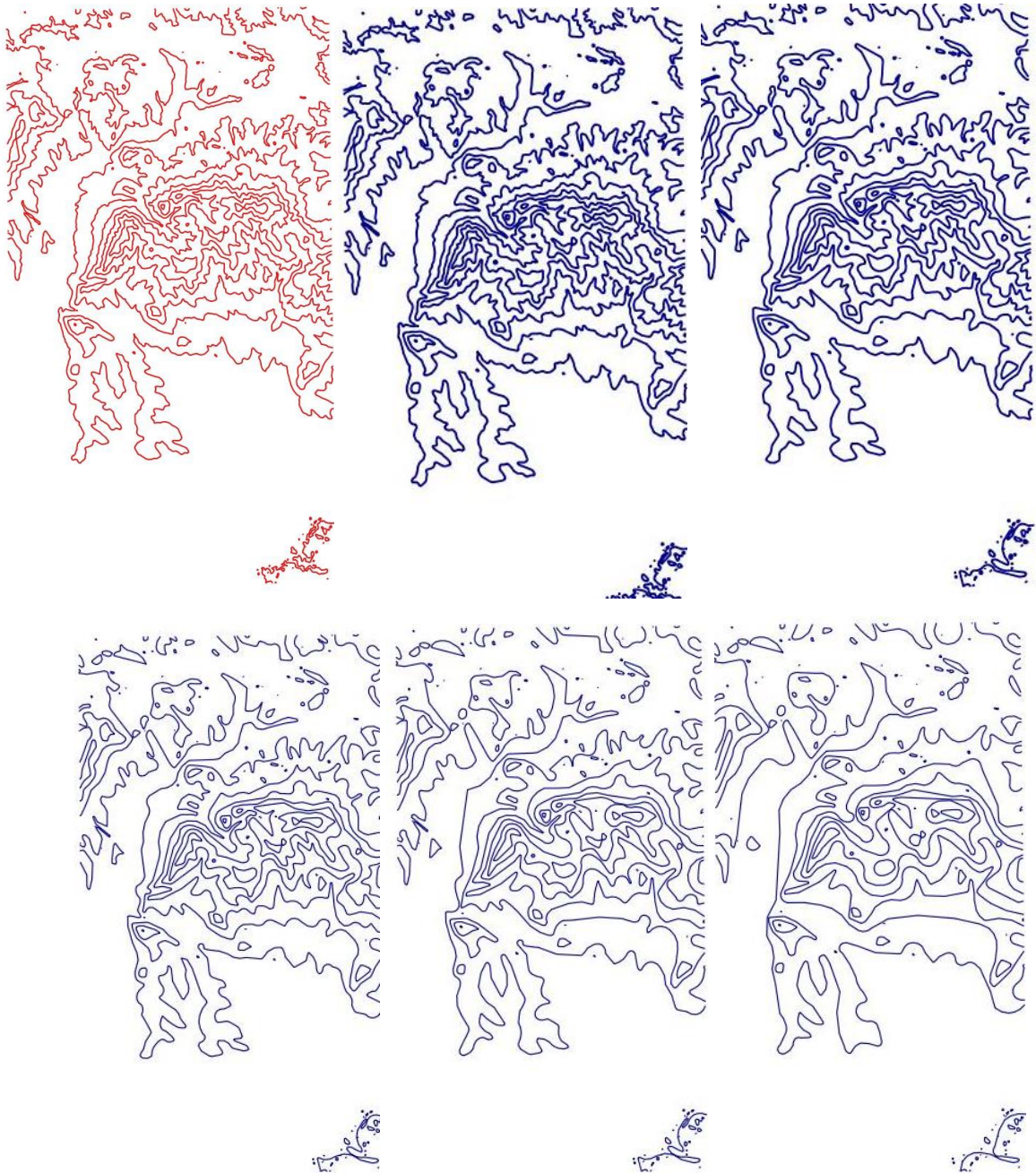
13. Generalizálás lineáris regresszióval. A generalizálás mértékére megadott paraméterek 0,05° és 0,1°.



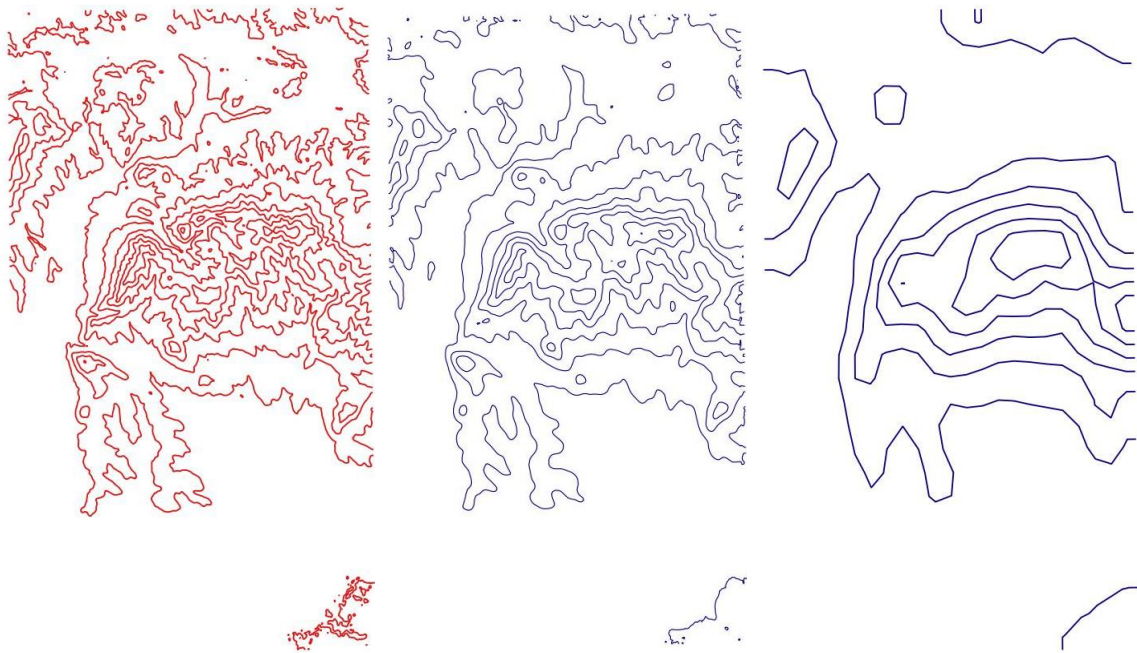
14. Generalizálás Li–Openshaw-féle raszteres-vektoros módszerrel. A célméretarány, vagyis az algoritmus megadott paraméterei: 1:500 000 és 1:750 000.



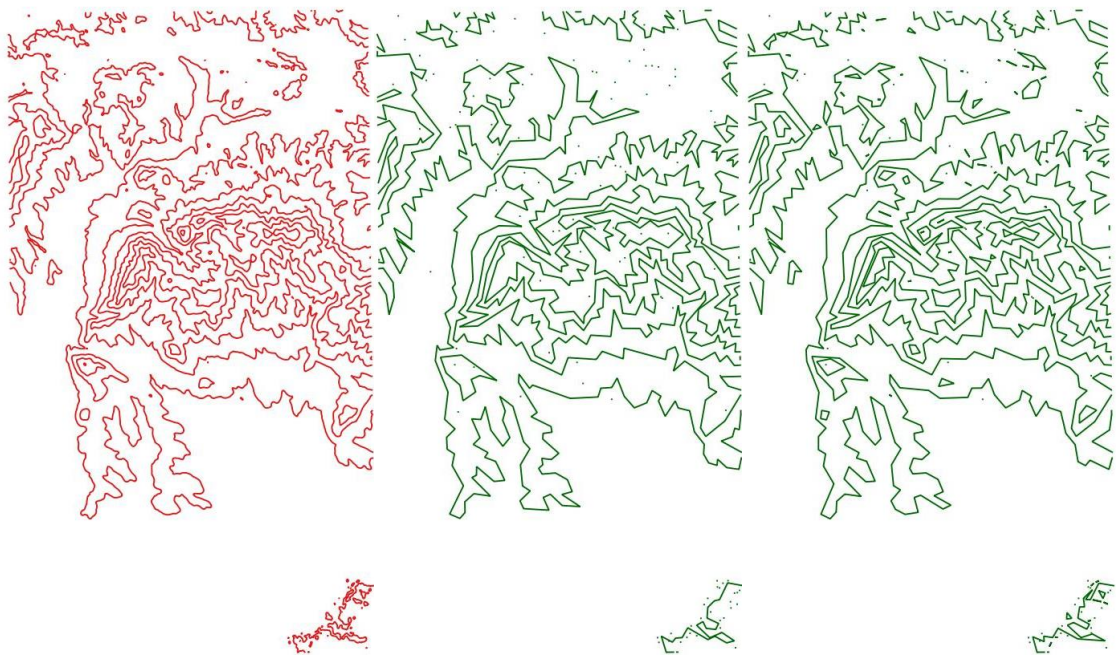
15. Az objektumok területét megőrző kartográfiai vonalgeneralizálási algoritmus esetén a következő méretarányokat adtam meg: 1:500 000 és 1:1 000 000; a következő sorban 1:1 500 000, 1:2 000 000 és 1:3 000 000.



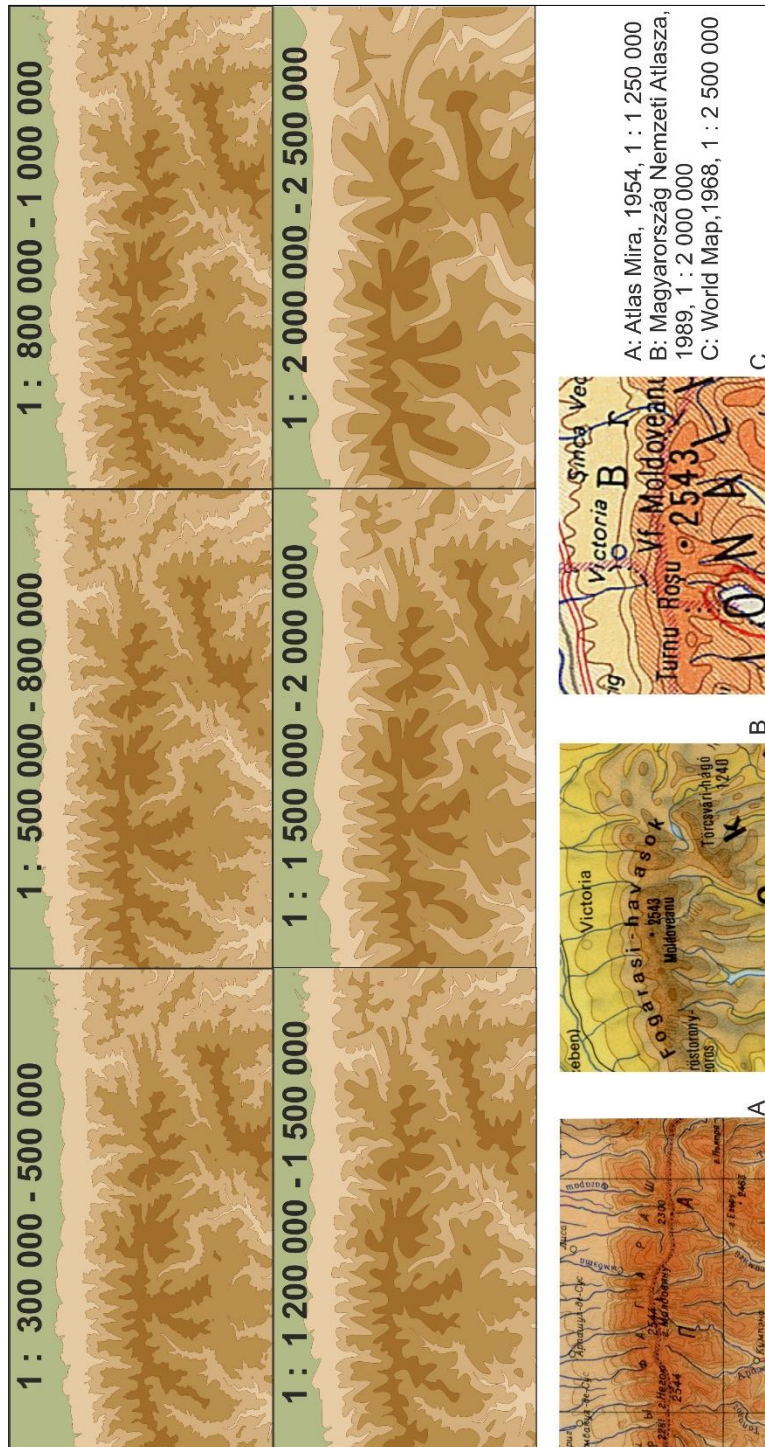
16. Generalizálás a domborzatmodell egyszerűsítésével. Az első képen az eredeti SRTM 90-ből, a másodikon a 27"-es felbontású változathból és végül 1'-es felbontású modellből generált szintvonalak láthatók. Az ábrasort méretarányosan a 3.9 fejezetben lévő 3.9-es ábrán látható. Az utolsó képen a legmagasabban fekvő szintvonal 700 méteres magasságot tükröz.



17. Generalizálás két lépésben, ugyanazon dimenziójú, ugyanolyan toleranciaértékkel: eredeti; Douglas–Peucker ($0,0025^\circ$), majd Lang ($0,0025^\circ$, 8); és Lang ($0,0025^\circ$, 8), majd Douglas–Peucker ($0,0025^\circ$). Az első esetben sok kis pontszerűnek tűnő vonalelem keletkezett. Ennek oka, hogy a vonal kiindulási csomópontszáma a minimális, paraméterként adott 8-hoz volt közel a Lang-algoritmusban. Mivel a távolság kisebb volt, mint a tolerancia, ezért pontokká alakultak ezek a szintvonalak. Ezek közül viszont amúgy is többet érdemes lesz elhagyni a méretarány-csökkenés miatt.



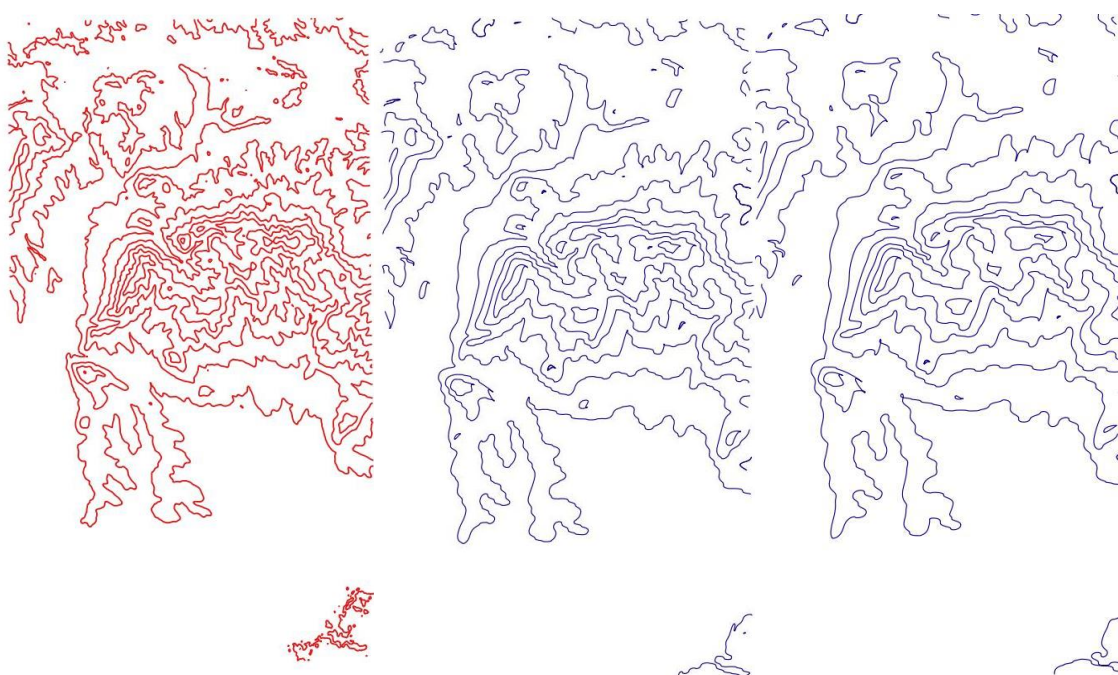
18. Különböző részletességű (generalizáltsági fokú) szintvonalak összehasonlítása atlasztérképekkel a Fogarasi-havasok példáján. Jól megfigyelhető a szerkesztők eltérő morfológiai ismeretei. Leginkább az Atlas Mira fejezi ki a magashegységi jégtakaró által létrehozott formákat, míg a World Map, kevésbé hangsúlyozza a vékony gerincet és a sűrű völgyrendszert.



19. Generalizálás-vizsgálatok eredményének értékelése

A dolgozatban bemutattam a Douglas–Peucker-algoritmus példáján az általam kidolgozott szempontrendszert és ez alapján egy mintaértékelést. A következő két értékelés a lineáris regresszió alapuló generalizálást, és a Li–Openshaw-módszerek hatékonyságát mutatja be. A kiindulási anyag a Mátra, 1:150 000 szintvonalrajz 100 méterenként generálva (vörössel).

Lineáris regresszió alapuló generalizálás, majd simítás Bézier-görbével

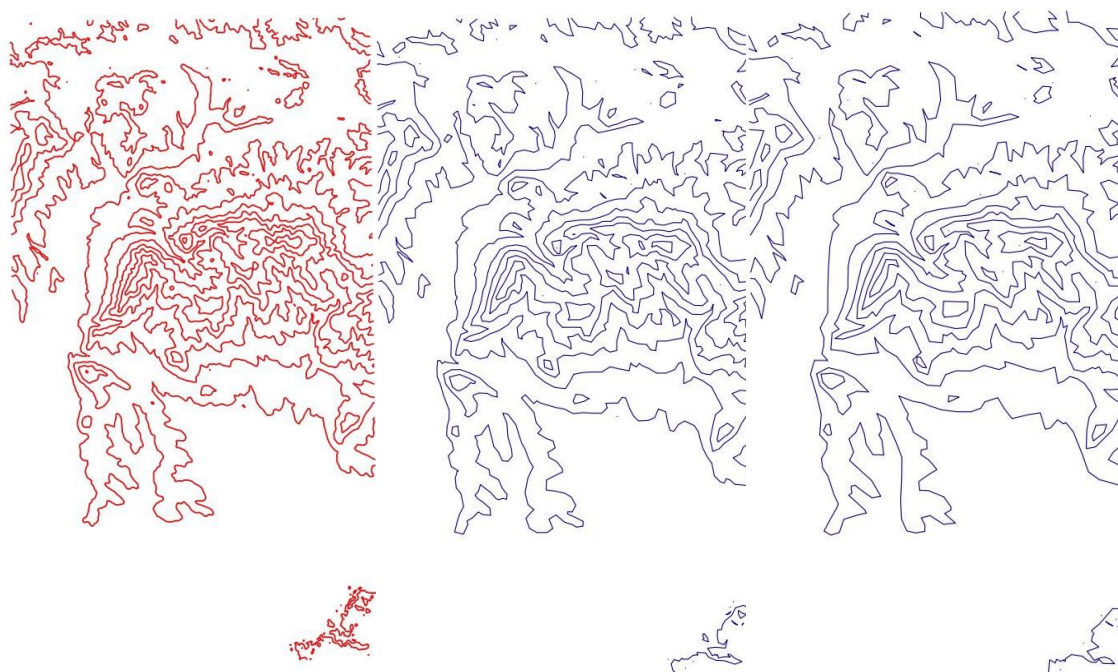


| | | |
|--|--|--|
| Méretarány | 1:500 000–700 000 | 1:800 000–1 000 000 |
| Algoritmus (tolerancia) | Lineáris regresszió (0,05°), Bézier-görbe illesztés | Douglas–Peucker (0,1°), Bézier-görbe illesztés |
| További használatra alkalmas-e? | Igen, de kisebb javítás szükséges. | Igen, de már több javítás szükséges. |
| Megőrizte-e a jellegzetességeket? | Igen, jól. | Igen, de helyenként javítás szükséges. |
| Vonalak hibája | Túl kicsi objektumok, bezárult, vonalszerű görbék, csúcsban végződő görbék, önmetszések. | Túl kicsi objektumok, bezárult, vonalszerű görbék, csúcsban végződő görbék, önmetszések. |
| Vonalak közötti viszonyok | Nem vizsgálta az algoritmus. A helyes vertikális generalizálás miatt nincs metszés. | Nem vizsgálta az algoritmus. Vertikális generalizálás szükséges. |
| Algoritmus implementálása (alkalmazott szoftver) | Python OGR. Az eredeti program módosítása, hatékonyságának növelése. | Python OGR Az eredeti program módosítása, hatékonyságának növelése. |

| | | |
|------------|--|---|
| Mérőszámok | max. eltérés a pufferzónától 1,5 mm a térképen Csomópontok száma egyszerűsítéskor csökkent, majd görbeillesztéskor újra nőtt. | max. eltérés a pufferzónától 1 mm a térképen Csomópontok száma egyszerűsítéskor jelentősen csökkent, majd görbeillesztéskor újra nőtt. |
|------------|--|---|

A Mátra teszttárolmányon a következő eredményt kaptam: 1: 500 000-esben az eredeti szintvonalak maximálisan kb. 700 méterre (a térképen kb. 1,5 mm) távolodtak el a pufferzóna szélétől, átlagosan 300 méterre, a szintvonalrajz negyedénél az eredeti vonalak teljes hosszának több mint 20%-a lóg ki a pufferzónából. A szintvonalak ötödénél pedig az eredeti vonalak hosszának legalább 40%-a lóg ki. 1: 750 000-esben az eredeti szintvonalak maximálisan kb. 700 méterre (ez a térképen kb.1 mm) távolodtak el a pufferzóna szélétől, átlagosan 300–400 méterre, a szintvonalak negyedénél az eredeti vonalak teljes hosszának kb. 20%-a lóg ki a pufferzónából. A szintvonalak 18%-ánál pedig az eredeti vonalak több mint 40%-a lóg ki a pufferzónából.

Li–Openshaw-féle raszteres-vektoros módban végzett egyszerűsítés



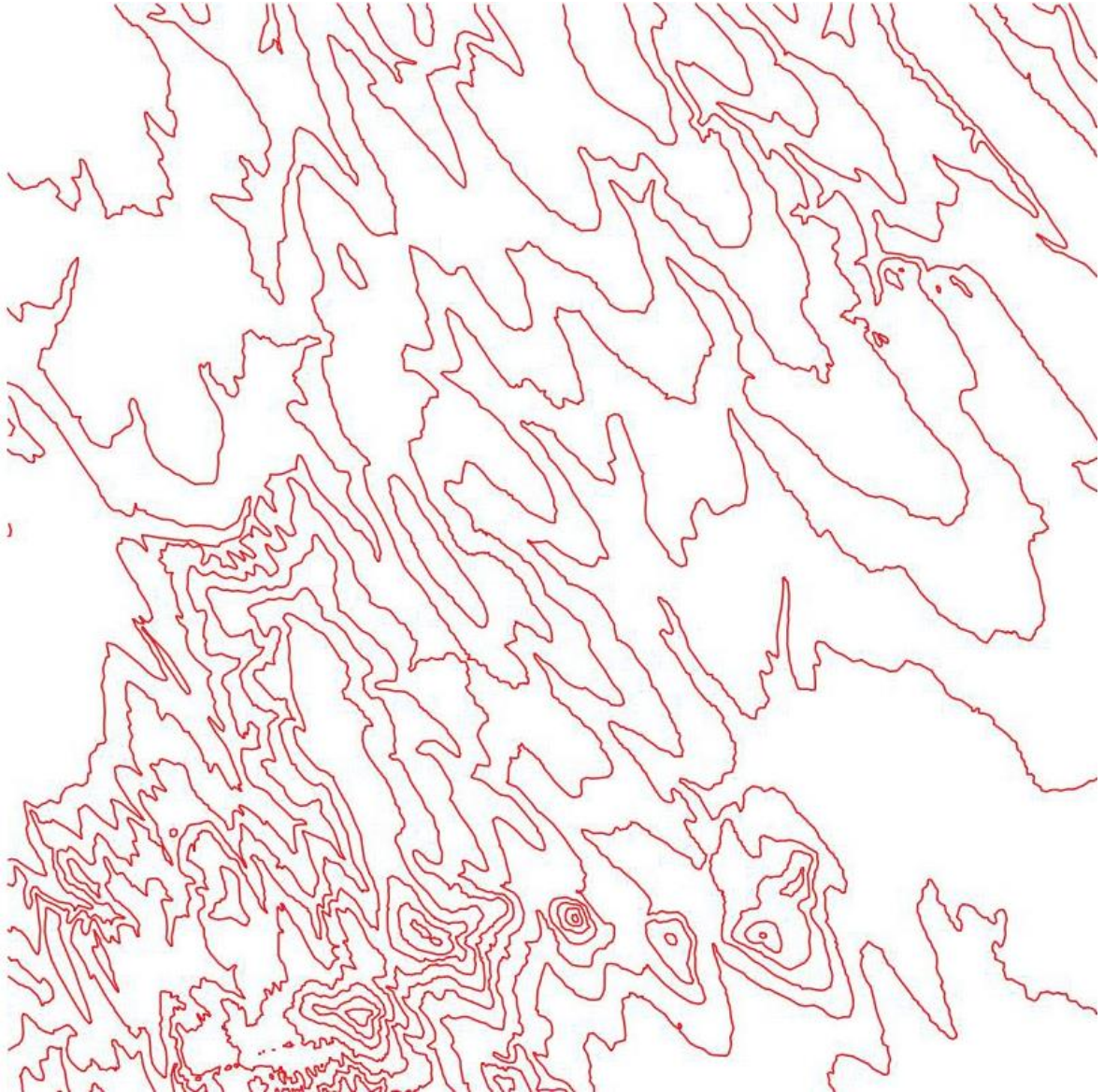
| | | |
|---------------------------------|------------------------------------|---|
| Méretarány | 1:500 000–700 000 | 1:750 000–1 000 000 |
| Algoritmus (tolerancia) | Li–Openshaw, 1:500 000 | Li–Openshaw, 1:750 000 |
| További használatra alkalmas-e? | Igen, de kisebb javítás szükséges. | Igen, de csak kisebb javítás szükséges. |

| | | |
|--|--|--|
| Megőrizte-e a jellegzetességeket? | Igen, többnyire jól. A völgyek helyenként kissé rövidülnek. A túl kicsi elemeket elhagyja. | Igen, többnyire jól. A völgyek helyenként kissé rövidülnek. A túl kicsi elemeket elhagyja. |
| Vonalak hibája | Szögletessé vált összhatás a célméretarányban. | Szögletessé vált összhatás a célméretarányban |
| Vonalak közötti viszonyok | Nem vizsgálta az algoritmus, de az algoritmus kivitelezése miatt nem jönnek létre. | Nem vizsgálta az algoritmus. de az algoritmus kivitelezése miatt nem jönnek létre. |
| Algoritmus implementálása (alkalmazott szoftver) | Python OGR. | Python OGR |
| Mérőszámok | max. eltérés a pufferzónától kisebb, mint 1 mm a térképen Csomópontok száma csökkent. | max. eltérés a pufferzónától kisebb, mint 1 mm a térképen. Csomópontok száma jelentősen csökkent. |

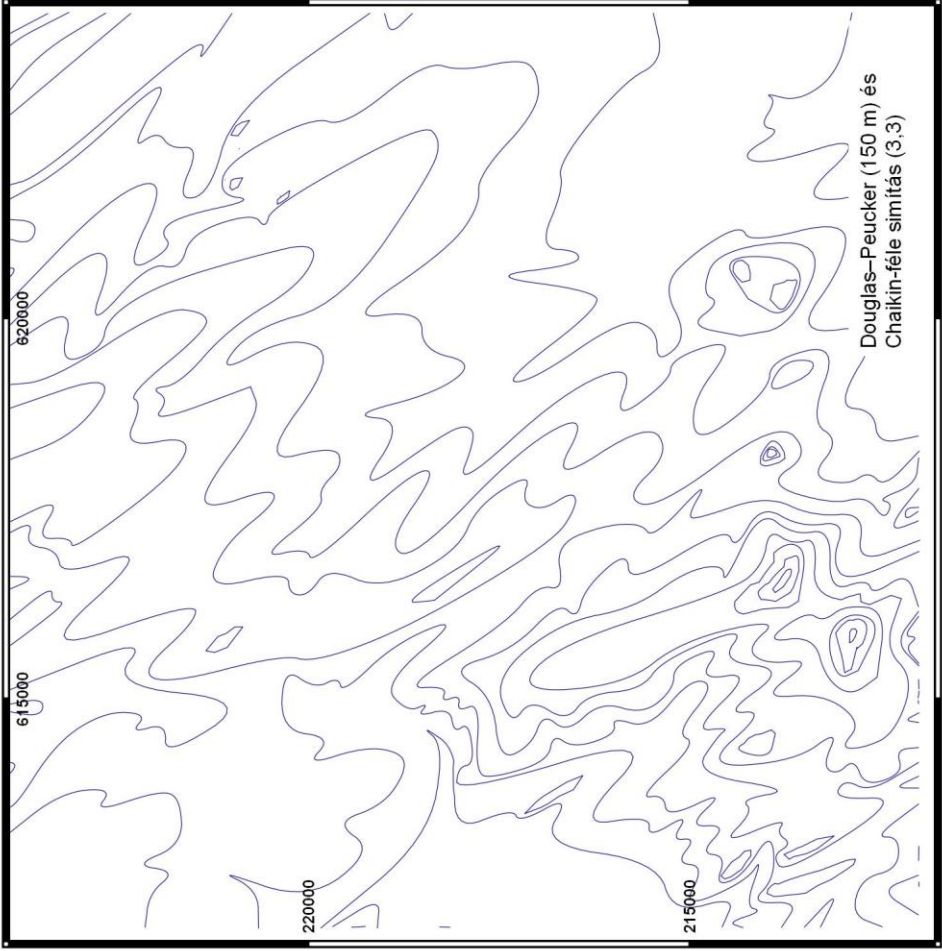
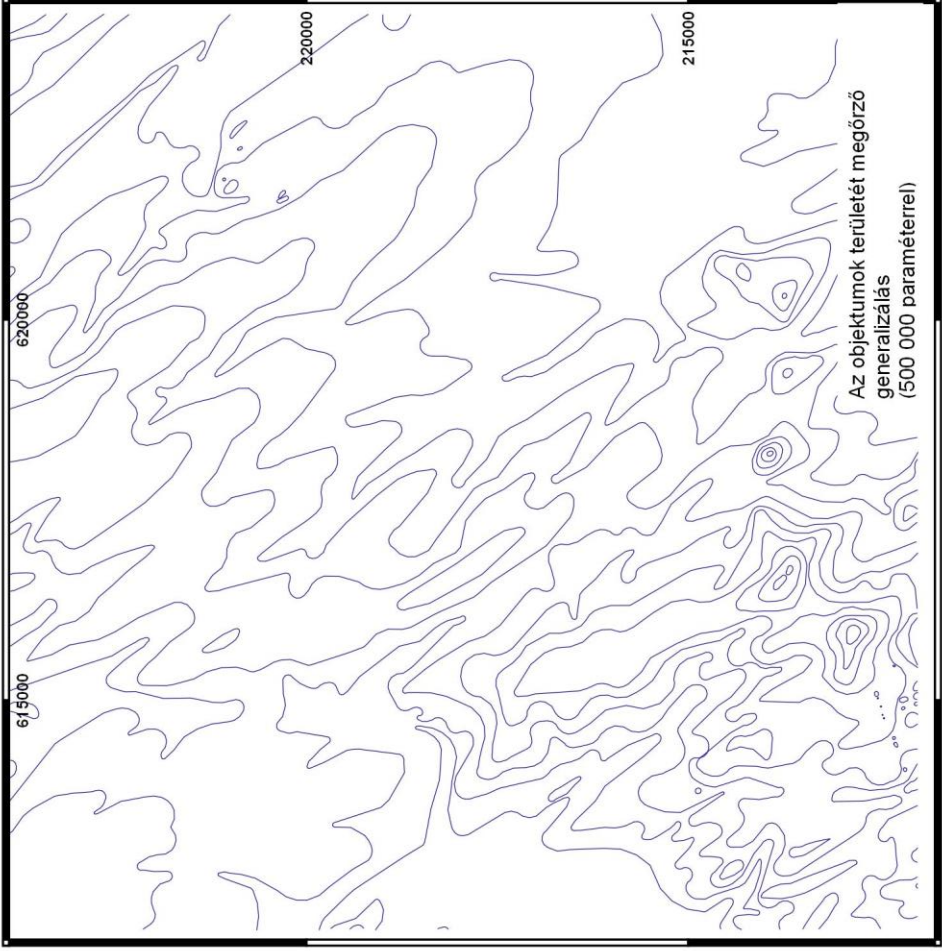
A Mátra tesztállományon a következő eredményt kaptam: 1: 500 000-esben az eredeti szintvonalak maximálisan kb. 350 méterre (a térképen kevesebb, mint 1 mm) távolodtak el a pufferzóna szélétől, átlagosan 200–300 méterre, a szintvonalrajz negyedénél az eredeti vonalak teljes hosszának több mint 20%-a lóg ki a pufferzónából. A szintvonalak 18%-nál pedig az eredeti vonalak hosszának legalább 40%-a lóg ki. 1: 750 000-esben az eredeti szintvonalak maximálisan kb. 500 méterre (ez a térképen kevesebb mint 1 mm) távolodtak el a pufferzóna szélétől, átlagosan 300–500 méterre, a szintvonalak negyedénél az eredeti vonalak teljes hosszának több mint 20%-a lóg ki a pufferzónából. A szintvonalak 14%-ánál pedig az eredeti vonalak több mint 40%-a lóg ki a pufferzónából.

1:10 000 EOTR szelvényből származó szintvonalak generalizálása 1:100 000 méretarányra

Nézőkép az eredeti (hat darab) 1:10 000-es szelvényről 20 méterenként digitalizált szintvonalakról:



A DP-algoritmussal generalizált, majd Chaikin-féle simítással görbékké alakított szintvonalrajz, valamint az objektumok területét megőrző generalizálás valós, 1:100 000 méretarányban.



| Méretarány | 1:100 000 | 1:100 000 |
|--|--|---|
| Algoritmus (tolerancia) | DP (150 m), Chaikin (3,3) | Objektumok területét megőrző gen. (500 000) |
| További használatra alkalmas-e? | Igen, de kisebb javítás szükséges a bezáródott íveknél, ez itt kb. 15–20 perc volt | Igen, a mesterségesen ható íveknél javítás lehet szükséges, kb. 10–15 perc |
| Megőrizte-e a jellegzetességeket? | Igen, többnyire jól. | Igen, többnyire jól. A kicsi kúpokát ábrázoló szintvonalak sem záródtak be. |
| Vonalak hibája | A völgyek helyenként kissé rövidülnek. A túl kicsi elemeket elhagyja. | Helyenként mesterkélten ható ívek, görbületek. |
| Vonalak közötti viszonyok | Nem vizsgálta az algoritmus. | Nem vizsgálta az algoritmus. |
| Algoritmus implementálása (alkalmazott szoftver) | QGIS Generalizer. | QGIS Cartographic Line Generalisation. |
| Mérőszámok | A legnagyobb különbségek 3–5 mm-esek, de a többségük 2 mm alatt marad | A legnagyobb különbség kb. 2 mm, de átlagosan 1–1,5 mm körüliek. |

Az első esetben teljes vonalak hosszának kb. 63%-a lóg ki a pufferezónából (ezt 60 m szélesnek vettem), míg a másik térképen ez csak 20%, tehát számottevően kisebb. Ez alapján megállapítható, hogy a második módszernél ugyanolyan generalizáltsági fok eléréséhez nagyobb paramétert kell megadni (a tényleges méretaránynál). A százezres méretarányban 20 méterenként szerepelnek a szintvonalak.

IV. Vertikális generalizálás

A vertikális generalizálásban vizsgált atlaszok jegyzéke

Középiskolai földrajzi atlasz. Cartographia, Budapest, 2003.

Világatlasz, Faragó–Hibernia–Szalay–Szarvas–Tóth, Hibernia–Nova Kft. Budapest, 2006.

Márton Mátyás: A Világtenger kartográfus szemmel c. kötet térképei. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Budapest, 2012.

The World Atlas. Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia, Moszkva, 1999.

Atlasz Mira. GUGK: (fordítás:) Chief Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of USSR, Moszkva, 1954.

Grande Atlante Geografico de Agostini. Instituto Geografico de Agostini, Novora, 1982.

Haack Weltatlas. VEB Hermann Haack Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha/Leipzig, 1980.

Dr. Brózik Károly: Nagy Magyar Atlasz. Lampel R Könyvkereskedése (Wodianer F. és fiai), Budapest, 1906.

G. Freytag's Welt-Atlas. Freytag&Berndt, Bécs, 1927.

Magyarország atlasza. Cartographia, Budapest, 1999.

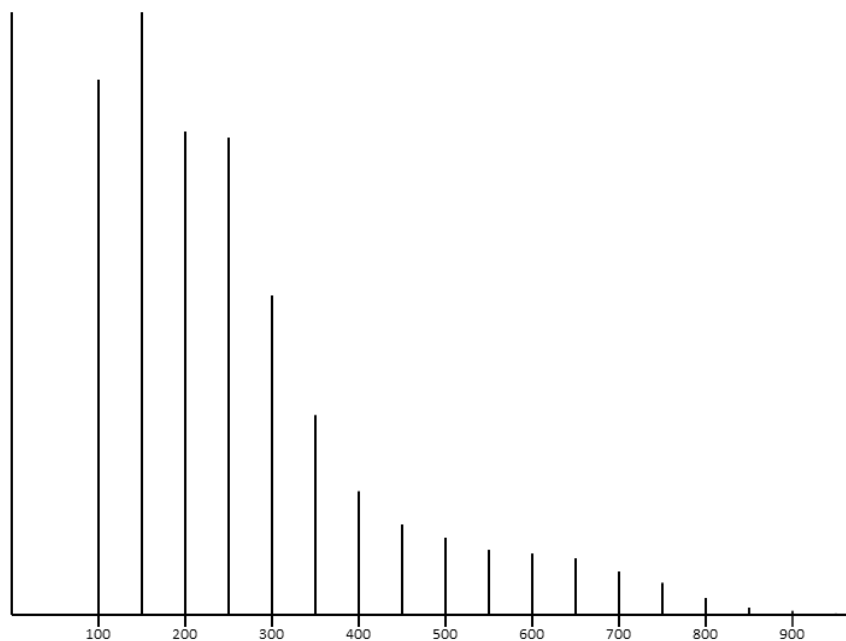
Magyarország Nemzeti Atlasza, Kartográfiai Vállalat, Budapest, 1989.

Magyarország Nemzeti Atlasza, Kartográfiai Vállalat, Budapest, 1967.

Földrajzi Világatlasz. Kartográfiai Vállalat, Budapest, 1992.

2. Vertikális generalizálás egy mátrai mintaterületen

A vertikális generalizálást az eddig is használt mátrai mintaterületen végeztem el. Itt az ajánlott magasságiréteg-színezést ismertetem. Az ábra a mintaterületen a magasságok gyakoriságát mutatja 50 méterre kerekítve.



50 méterenkénti rétegekben a magasságok eloszlása százalékban:

0–50: 0,0%; 50–100: 16,77%; 100–150: 18,89%; 150–200: 15,13%; 200–250: 14,94%;
 250–300: 10,0%; 300–350: 6,24%; 350–400: 3,86%; 400–450: 2,82%; 450–500: 2,41%;
 500–550: 2,02%; 550–600: 1,9%, 600–650: 1,76%; 650–700: 1,35%; 700–750: 0,99%; 750–
 800: 0,53%; 800–850: 0,22%; 850–900: 0,12%; 900–950: 0,05%.

A 4. fejezetben felsorol réteglépcsők szerinti magasságeloszlás százalékban:

0–50: 0%; 50–100: 0,01%; 100–200: 42%; 200-500: 47%; 500–1000: 1%.

Ezek alapján a program a következő rétegszámot ajánlja az egyes réteglépcsőkben, ha a térképen 500–1000 méter közötti a szintkülönbség (7 db):

0–50: 0 db; 50–100: 0,08 db; 100–200: 2,93 db; 200-500: 3,27 db; 500–1000: 0,71 db.

Ezáltal kerekítéssel a megadott rétegekben ajánlott réteglépcsők száma:

0–50: 0 db; 50–100: 0 db; 100–200: 3 db; 200-500: 3 db; 500–1000: 1 db.

A területeloszlás szerinti lehetséges réteglépcsők (7 db):

(0) –100–125, 125–150, 150–200, 200–300, 300–400, 400–500, 500–1000.

V. Melléklet

Részletes Mátra térkép többféle méretarányban, lásd a pótlapon.

ADATLAP

a doktori értekezés nyilvánosságra hozatalához*

I. A doktori értekezés adatai

A szerző neve: Ungvári Zsuzsanna

MTMT-azonosító: 10033828

A doktori értekezés címe és alcíme: A térképi generalizálás vizsgálata különféle méretarány-tartományokban domborzatmodelleken

DOI-azonosító⁴⁶: 10.15476/ELTE.2017.047

A doktori iskola neve: ELTE TTK Föltudományi Doktori Iskola

A doktori iskolán belüli doktori program neve: térképész

A témavezető neve és tudományos fokozata: Dr. Márton Mátyás, az MTA doktora

A témavezető munkahelye: ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

II. Nyilatkozatok

1. A doktori értekezés szerzőjeként

a) hozzájárulok, hogy a doktori fokozat megszerzését követően a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban. Felhatalmazom a Természettudományi kar Dékáni Hivatal Doktori, Habilitációs és Nemzetközi Ügyek Csoportjának ügyintézőjét, hogy az értekezést és a téziseket feltöltse az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba, és ennek során kitöltse a feltöltéshez szükséges nyilatkozatokat.

b) kérem, hogy a mellékelt kérelemben részletezett szabadalmi, illetőleg oltalmi bejelentés közzétételéig a doktori értekezést ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

c) kérem, hogy a nemzetbiztonsági okból minősített adatot tartalmazó doktori értekezést a minősítés (*dátum*)-ig tartó időtartama alatt ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

d) kérem, hogy a mű kiadására vonatkozó mellékelt kiadó szerződésre tekintettel a doktori értekezést a könyv megjelenéséig ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban, és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban csak a könyv bibliográfiai adatait tegyék közzé. Ha a könyv a fokozatszerzést követően egy évig nem jelenik meg, hozzájárulok, hogy a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban.

2. A doktori értekezés szerzőjeként kijelentem, hogy

a) az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba feltöltendő doktori értekezés és a tézisek saját eredeti, önálló szellemi munkám és legjobb tudomásom szerint nem sértem vele senki szerzői jogait;

b) a doktori értekezés és a tézisek nyomtatott változatai és az elektronikus adathordozón benyújtott tartalmak (szöveg és ábrák) mindenben megegyeznek.

3. A doktori értekezés szerzőjeként hozzájárulok a doktori értekezés és a tézisek szövegének plágiumkereső adatbázisba helyezéséhez és plágiumellenőrző vizsgálatok lefuttatásához.

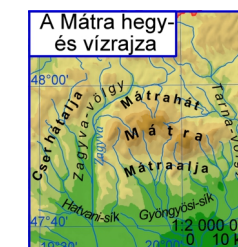
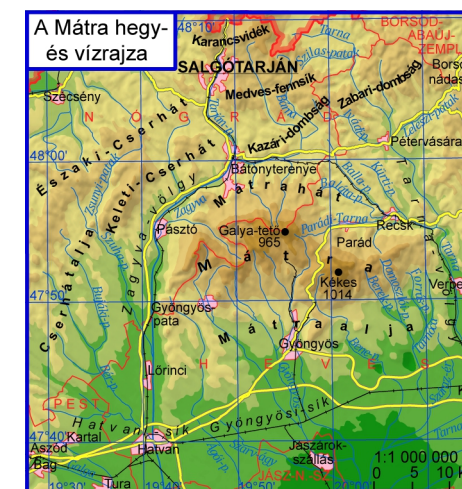
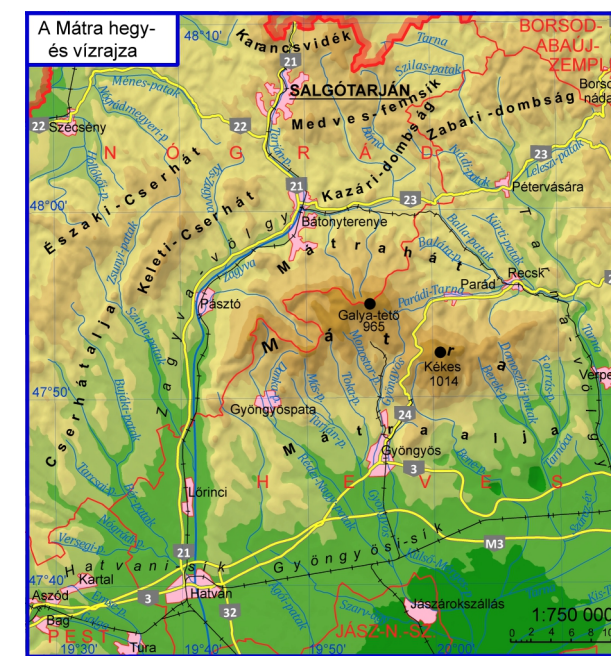
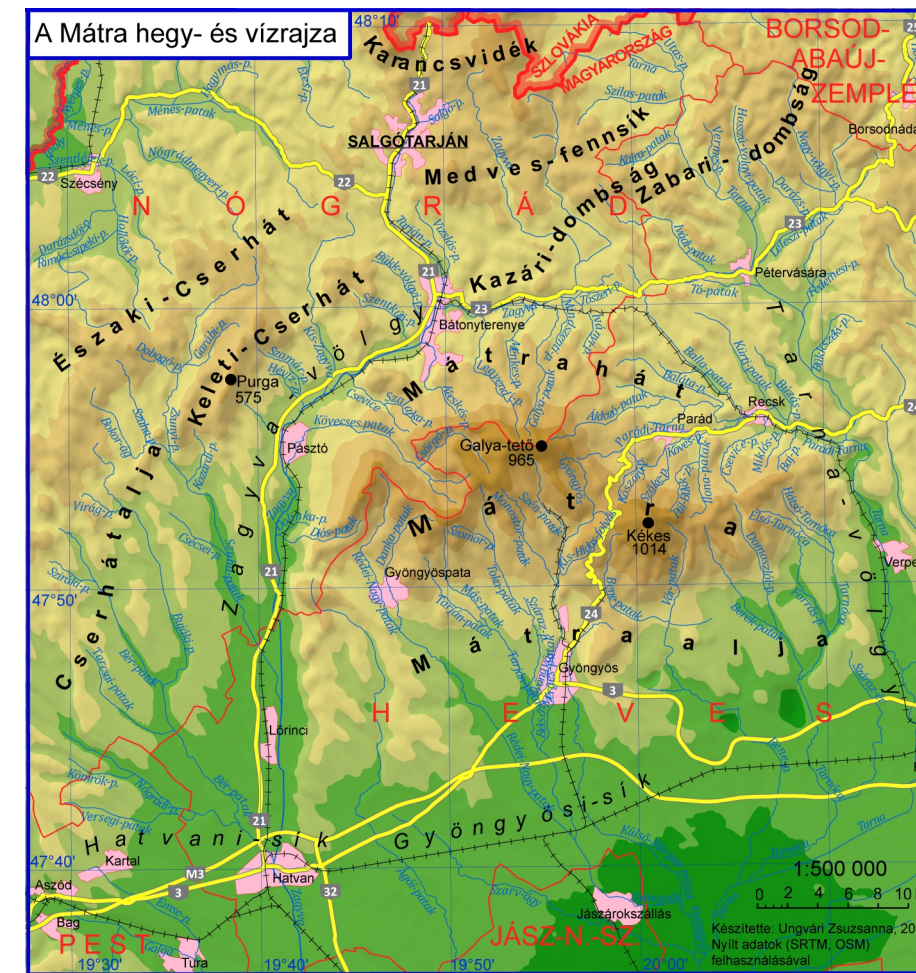
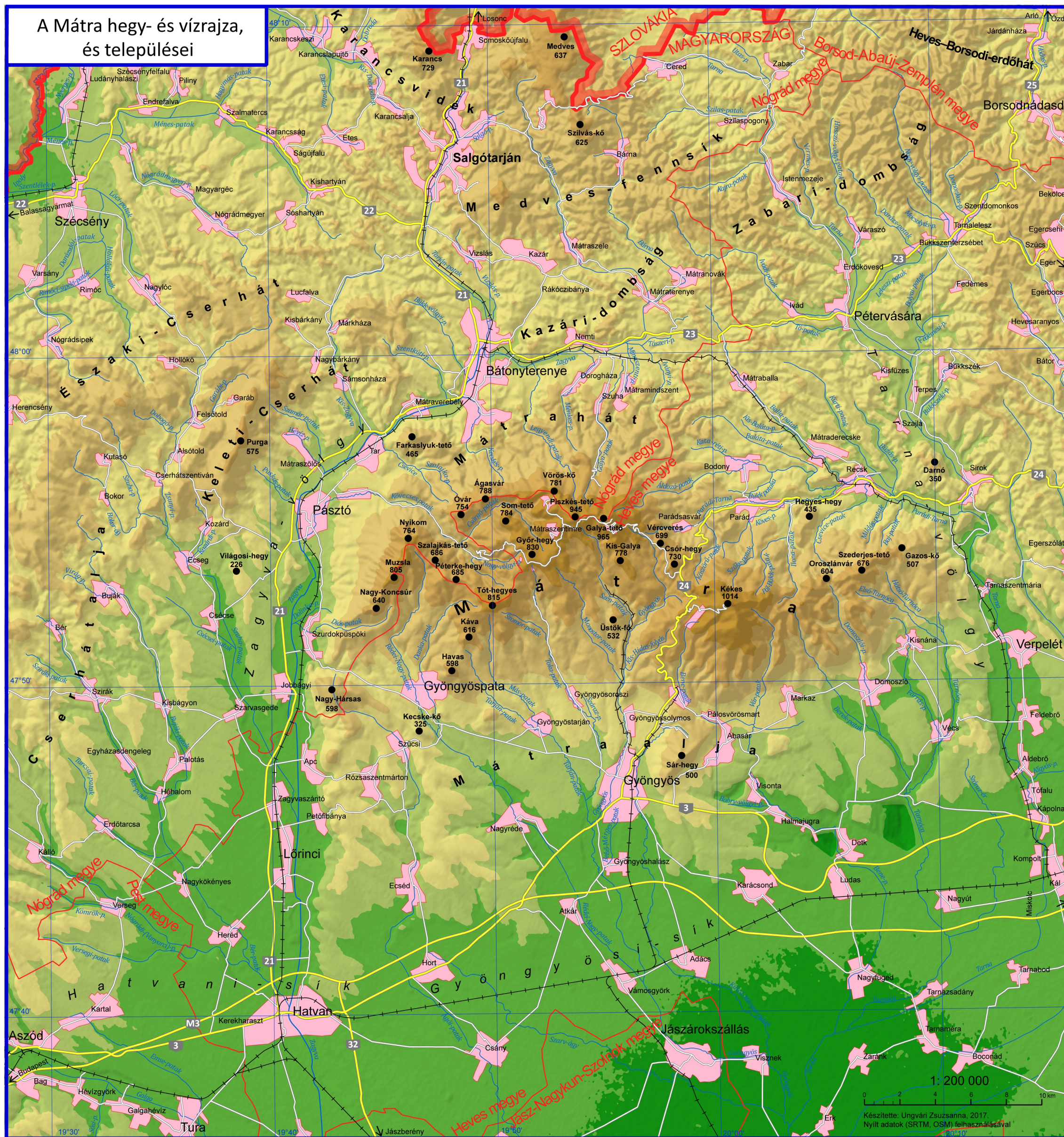
Kelt: Budapest, 2017. március 17.

*ELTE SZMSZ SZMR 12. sz. melléklet

.....

a doktori értekezés szerzőjének aláírása

A Mátra hegy- és vízrajza, és települései



Jelmagyarázat

- Országhatár
 - Megyehatár
 - Vasút
 - Autópálya, elsőrendű főút
 - Másodrendű és egyéb út
 - Folyó
 - Patak
 - Beépített terület
- | | |
|---------------------|--------------------|
| Salgótarján | Megyei jogú város |
| Hatvan | Város |
| Bag | Község |
| Mátra | Nagytátró |
| Mátraalja | Hegység, dombosság |
| Zagyva-völgy | Völgy, síkság |
| Kékes 1014 | Hegycsúcs |

A 1:200 000-es térképen az SRTM 90-es modell generalizálás nélkül szerepel. Az 1:500 000-es térképen a domborzatot módosított képszűrővel egyszerűsítettem, de a vízrajz még generalizálás nélkül látható. Az 1:750 000 méretarányban a vízrajz geometriája egyszerűsödött. Az 1:1 000 000-ban a vízfolyások és a vízrajzi nevek számát csökkentettem, majd 1:2 000 000-nél a domborzatrajzot ismét generalizáltam, emellett a vízfolyások és vízrajzi elemek nevének számát is csökkentettem.

A vonalas vízrajzi elemek töréspontjait a Douglas–Peucker-algoritmussal egyszerűsítettem, majd a kígyókkal simítottam.