

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar
Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

Dunai árvízmodellek pontosságának vizsgálata nagyfelbontású
légifelvételek alapján

Diplomamunka

Varga Csilla

Térképész mesterszakos hallgató

Témavezető:

Mészáros János

Tanársegéd

ELTE Informatikai Kar

Térképtudományi és Geoinformatikai

Tanszék

Külső konzulens:

Bakó Gábor

Okleveles környezetmérnök

Ügyvezető igazgató

Interspect Kft.



Budapest, 2014

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
2. A távérzékelés és a fotogrammetria fogalmai.....	6
2.1 A digitális kép és torzulásai	7
2.2 Pixel koordinátarendszer	8
2.3 Képpiramisok	9
2.3 Georeferálás	9
2.4 Az ortofotó és az ortorektifikáció	10
2.5 A mérőkamera.....	11
2.6 Elemzések a felbontás függvényében.....	12
3. Nagyvizek és áradások.....	13
3.1 Hazánk folyóvizeinek legnagyobbika: a Duna	13
3.2 A dunai árvizek	14
4. Vízenszerek modellezése	17
4.1 A hidrológiai értékelés	17
4.2 A hidrodinamika.....	17
4.3 A numerikus modell.....	17
4.2.1 Felszíni folyóvizek 2D modellezése.....	19
4.2.2 A modell rácshálójának kialakítása	20
4.3 A LIDAR alapú elöntésmodellek.....	21
5. Árvízmodellek pontosságának vizsgálata nagyfelbontású légifelvételek alapján.....	22
5.1 A vizsgált terület	22
5.2 Az elemzéshez rendelkezésre álló adatok	22
5.2.1 A hidraulikai lefolyásmodell.....	23
5.2.2 A nagyfelbontású légifelvételből előállt ortofotó-térkép.....	25
5.3 A felhasznált szoftver	27
5.4 Az adatok előkészítése: adatbázis létrehozása, georeferálás, vetületbe helyezés, vektorizálás.....	27
5.5 Az elöntéshatárok egyeztetése	29
5.6 Metszetek készítése	32
5.7 Fedvényalapú elemzés felszínborítottság alapján	33
5.7.1 Növényzeti fedettség	38
5.7.2 Beépített területek.....	42
5.7.3 Művelés alatt álló területek.....	45

6. Összefoglalás	47
6.1 Következtetések	47
6.2 Javaslatok.....	47
7. Irodalomjegyzék.....	49
7.1 Felhasznált irodalom	49
7.2 Felhasznált internetes források	49
8. Mellékletek	52
8.1 Ábrajegyzék	52
8.2 CD melléklet tartalma.....	61
NYILATKOZAT	63

1. Bevezetés

Terepelemek, mesterséges objektumok változásainak és különböző természeti jelenségek ideiglenes állapotainak megállapításához nagyban hozzájárulnak az egyes térinformatikai megoldások, mint a távérzékelés, a fotogrammetria, a klasszikus GIS tudománya.

A természeti jelenségek között az árvíz egy olyan időszaki állapot, melynek felmérése a terület megközelíthetőségének nehézségéből fakadóan fotogrammetriai úton történik, s eredményeképpen számos, egy időpontra vonatkozó téradatot nyerhetünk.

Dolgozatomban a fotogrammetria egy régóta alkalmazott módszerét, az árvíz-elöntés dokumentálását, illetve a különböző adatokat is figyelembe vevő elöntésmodellek pontosságának immár ortofotók alapján történő vizsgálatát taglalom. Magyarországon 1925 óta használnak légifelvételeket az árvízi elöntés dokumentálására, illetve a folyók kis- és nagyvízi állapotának térképezésére. 2008-ig bezárólag az árvízi események nagy részének légi dokumentálása megvalósult. A feladatot 1945-ig az Állami Térképészeti Intézet, 1962 után a vízügyi légi szolgálat (később ARGOS Vízügyi Film- és Légi Térképészeti Stúdió) végezte el. (<http://hu.wikipedia.org/wiki/ARGOS>)

Az árvízi események dokumentálása mellett egyre fontosabb szerepet tölt be a károk megelőzését, az események előrejelzését célzó modellezés. Hidrodinamikai modellel olyan víz közeli területeket modelleznek, melyek árvíz esetén veszélybe kerülhetnek. Ezek a komplex matematikai alapokon nyugvó, számos tényezőt számításba vevő lefolyásmodellek előrejelzik, mekkora elöntés várható egy adott területen, s ezzel elősegítik a döntéshozást a védelmi intézkedések mértékének és típusának kérdésében.

Alapanyagul a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karának Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén előállított, 2013 júniusában levonuló dunai árvízhez készített hidrodinamikai lefolyásmodell, az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission angol) terepadatokra támaszkodó, 105 m-es elöntésre generált vízszint, valamint az ARGOS Vízügyi Film- és Légi Térképészeti Stúdió utódjaként létrejött Interspect Kft. által rendelkezésemre bocsátott légi felmérés ortofotó-fedvénye állt rendelkezésemre. Az űrtávérzékeléssel előállított SRTM domborzatmodellre alapuló elöntésmodell nem számol annyi tényezővel, mint a Műszaki Egyetem hidrodinamikai modellje, csupán megadja az adott vízszinthez a várhatóan érintett területek nagyságát. Munkám során elemeztem, hol jelentkezik a fent említett elöntéshatárok közötti legnagyobb eltérések, ezek a modellek mely bemeneti adatainak pontatlanságából fakadhattak, s a közelítések milyen paraméterek javításával pontosíthatók, melyekre új megoldásokat is kerestem.

2. A távérzékelés és a fotogrammetria fogalmai

A terep felszínét térképekkel ábrázoljuk, melyek előállításához különböző módszereket alkalmazhatunk: mérhetünk közvetlenül a terepen, illetve gyűjthetünk adatokat a terepről készült felvételek alapján is. Távérzékelés alatt azon adatgyűjtési és feldolgozási folyamatok összességét értjük, melyek során tárgyakról, területekről, jelenségekről úgy gyűjtünk adatokat úgy, hogy azokkal közvetlenül nem érintkezünk. A távérzékeléshez kapcsolódik ezen kívül a felvételek értelmezése és mérése is, melyeket együttesen feldolgozási folyamatnak nevezünk.

A távérzékelés szót először a földfelszínt pásztázó vagy fényképező műholdakra szerelt berendezések munkába állítása kapcsán kezdték használni, és csak ezután terjesztették ki a rokon adat-felvételezési technikákra is (Csató, 2000).

A fotogrammetria az elkészített fényképek rögzítésével, mérésével és kiértékelésével foglalkozik, és lehetővé teszi tárgyak, objektumok méretének, alakjának és egyéb fizikai jellemzőinek megállapítását. A térinformatika első ága, a metrikus információszerzés egyik módszere. A távérzékelés részeként tartjuk számon (Kraus, 1998), ám a felmérés céljában, a felvételek típusában és a leképezés módjában kisebb-nagyobb mértékben eltérnek. (Mélykúti, 2007) Tehát amikor az érdekel bennünket, mit látunk egy felvételen, azt kiértékeléssel (interpretációval) állapítjuk meg, melynek eredményeképpen tematikus adatokhoz jutunk. Amikor pedig az a célunk, hogy megállapítsuk, hol található egy adott tereptárgy, mesterséges objektum vagy jelenség, a felvételek kiértékelése során a geometriai adatok játsszák a fő szerepet, s ezek minél pontosabb előállítása a fő feladat. Előbbi eljárás főleg a távérzékelésben, utóbbi a fotogrammetriában jellemző, de interpretációs feladatok is jelen vannak a fotogrammetriában (vegetációborítás térképezése, fafajták megállapítása stb.).

A fotogrammetriának a műszerekkel nyerhető adatok fajtái szerint három ágát különböztetjük meg: az analóg, az analitikus, és a digitális fotogrammetriát. (Engler, 2011) Az analóg fotogrammetriában a hagyományos úton keletkezett, cellulóz filmre készített fényképeket analóg fotogrammetriai műszerekkel értékeljük ki, melynek során valódi modellt állítunk elő. Az analitikus módszerrel a fényképeket a mérőműszerekhez csatlakoztatott számítógépek segítségével interpretáljuk, a digitális fotogrammetriában pedig már a tárolástól kezdve a kiértékelésig minden művelet digitális úton történik.

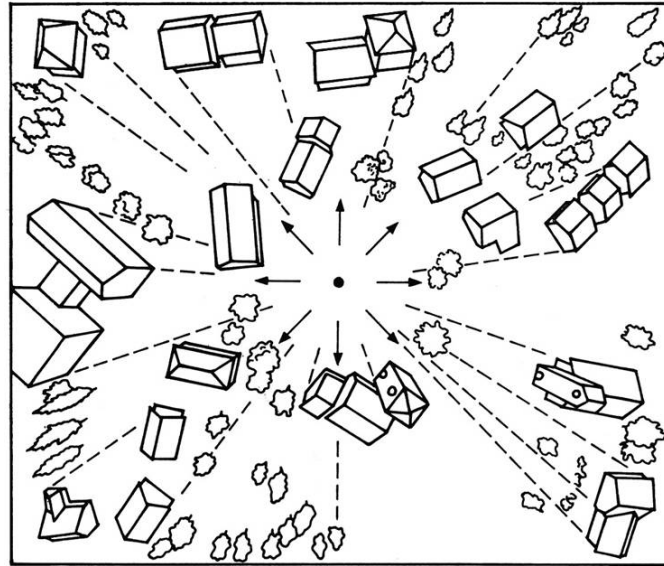
2.1 A digitális kép és torzulásai

A digitális fotogrammetria bemeneti eleme a digitális kép, mely egy sorokból és oszlopokból álló mátrixként fogható fel. Alapegységéhez, a pixelhez, melyet más néven képpontnak is hívunk, több jellemzőt is rendelünk. A pixeldimenzió definiálja a kép méretét, amely szám csak pozitív, egész szám lehet (pl. egy 10 000 képpontból álló kép pixeldimenziója: 100x100). A felbontás megmutatja, mekkora terepi szakasznak felel meg egy pixel oldalhossza (pl. 4 m/pixel=16 000 m²). A kép spektrális felbontása megadja, hány spektrális sávban történt a felvételezés és ezek mely hullámhosszúság-tartományokra érzékenyek. (Csatornából mindig csak három, sávból több is lehet: a multispektrális vevők több, a hiperspektrális berendezések több száz sávban felvételeznek - feldolgozásnál ezekből szokás kiválasztani a célnak leginkább megfelelő sávokat¹.) A színmélység rámutat, hány különböző értéket kaphat egy pixel egy raszteres állományon belül. Ez esetben egy pixelben nem színek, hanem számok tárolódnak, értéke a felvételezéskor tapasztalt sugárzás intenzitásától függ. A variációk meghatározására a kettes szám hatványkitevőit alkalmazzuk:

- 2¹ (1 bites színmélység): A fekete-fehér kép, ahol 0 vagy 1 értéket kap egy képpont
- 2⁸ (8 bites színmélység): A szürkeárnyaltos kép, melyben egy pixel 256 árnyalatban, 0–255 közötti értéket kap
- 2²⁴ (24 bites színmélység): A három sávós színes kép, mely hatással van a számítógépek monitorainak 24 bites beállítására is: 2⁸ a Red, Green és Blue értékből keveri ki a monitoron látható színt. Egy képelem 0–255 közötti értéket kap kettes számrendszerben.
- kompozit képek: több felvétel egymásba helyezve, pl. LANDSAT multispektrális felvételek

A fényképen tárolt információk lehetnek alaki, geometriai és fizikai információk. A légifelvételek a térképekhez hasonlóan felülnézetből ábrázolják a tájat, ám geometriájuk – az állandó és véletlenszerű jelenségek által okozott hibákból fakadóan - nem azonos a térképeken használtakkal, és míg térképen egy területet síkvetítéssel, valamely méretarány szerinti kicsinyítéssel ábrázolunk, addig egy légifénykép esetében a centrális vetítésből adódó perspektív torzulás jelentkezik. (1. ábra)

¹ Vizuális elemzésnél három, számítógéppel akár 20-40 csatorna komplex vizsgálata is elvégezhető.

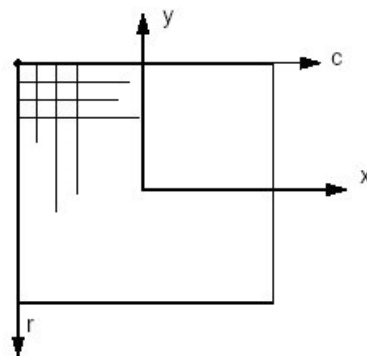


1. ábra: Perspektív torzulás a légifelvétel készítésekor
(<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/terkepivetulek/ch09.html>)

Vetítés után a projektív tulajdonságok megőrződnek, tehát pontnak pont, vonalnak vonal, illeszkedésnek illeszkedés felel meg, a metrikus tulajdonságok, mint távolság, terület, szög és koordináta viszont megváltoznak. (Balázsik, 2006)

2.2 Pixel koordináta-rendszer

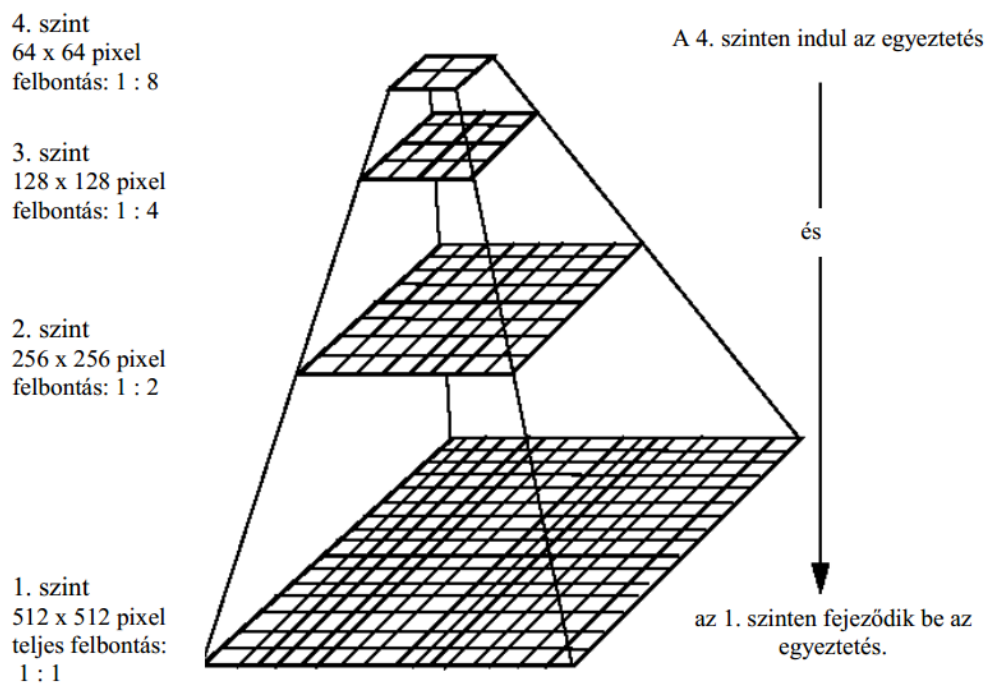
Régen, az analóg légifelvétel pontjainak elhelyezéséhez egy olyan képi koordináta-rendszert használtak, melynek origója a kép középpontjában volt, s a tengelyek mentén leolvasott mm-értékekből lehetett megállapítani a koordinátákat. A digitális felvételek koordinátáit ezzel szemben manapság egy pixel koordináta-rendszerben határozzák meg. Ennek a rendszernek a kezdőpontja a felvétel bal felső sarka, X-tengelye jobbra, Y-tengelye lefelé mutat, egysége a pixel. (2. ábra) Ezek a koordináták megadhatók a pixel oszlop (c) és sor (r) számával, így a pixel helye a rendszerben (c,r) lesz. (Mucsi - Kovács - Szatmári - Nagyvárad, 2011)



2. ábra: A digitális kép pixel koordináta-rendszere (<http://www.geo.u-szeged.hu/~laci/ab-Geoinfotananyag/ch10s04.html>)

2.3 Képpiramisok

Amikor nagyfelbontású vagy nagyméretű digitális állománnyal végzünk munkát, képpiramisok alkalmazásával (többszintű korrelációval) a geometriai felbontás durva és finom szintjeit használjuk. Ilyenkor a számítógép képernyőjén a képnek csak az a része jelenik meg, amellyel épp dolgozunk, ezáltal kevésbé terheljük a memóriát, csökkentjük a számítási időt, és növeljük az egyeztetési eljárás megbízhatóságát. A képpiramis a legalacsonyabb szinttől a legfinomabb felé haladva úgy épül fel, hogy minden egyes nagyításnál megkétszerezi a pixeloszlopokat és -sorokat, így lehetővé teszi, hogy az előző nagyításnál dupla akkora felbontásban szemlélhessünk. (3. ábra)

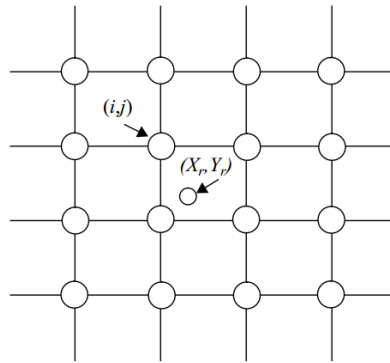


3. ábra: Képpiramis: a felbontás minden szintnél megkétszereződik (http://www.geo.u-szeged.hu/~laci/geoinformatika/BSc_Fotogrammetria_2.pdf)

2.3 Georeferálás

A georeferálás során a képi elemeket valódi térbeli koordinátákkal látjuk el, vagyis egy térképi vetületbe illesztjük őket, amihez illesztőpontok (vagy a szaknyelvben elterjedtebb) GCP-k (Ground Control Point angol) szükségesek. Ezeket először a fényképen, majd a referenciarendszerben azonosítjuk, megfeleltetve őket egymásnak. Minél inkább egyenes az eloszlása a pontoknak s fedjük le vele az ábrázolt területet, annál pontosabb lehet a transzformációnk, azonban ennek szükséges feltétele, hogy a pontok mindkét rendszerben egyértelműen mutassanak ugyanarra a helyre.

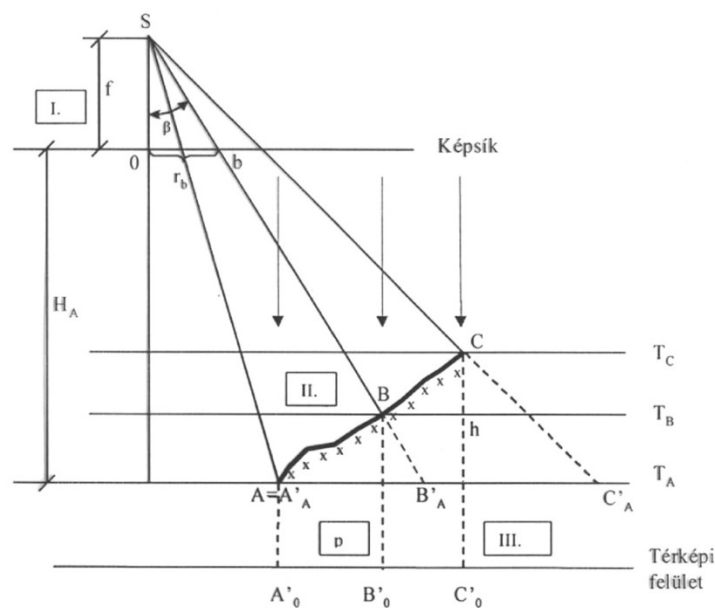
Mivel a kiindulási és a transzformált kép pixelrácsa az átalakítás után nem fedi egymást, a keletkezett állomány pixeleihez új intenzitásértékeket rendelünk. Erre többféle módszert ismerünk, a legközelebbi szomszéd, a bilineáris interpoláció és a Lanczos-féle szűrő mellett manapság a digitális felvételeknél a köbös konvolúció elvét alkalmazzuk. Ennek során a kimeneti képpont intenzitásérték meghatározásához 4×4 pixelt és egy kétváltozós, harmadfokú polinomot illesztünk. (4. ábra)



4. ábra: A köbös konvolúció elve (Erdas Field Guide)

2.4 Az ortofotó és az ortorektifikáció

A digitális ortofotó egy olyan speciális fototranszformátum, mely a centrális vetítéssel kapott légi felvételek ortogonális vetületbe történő átranszformálása során jön létre. (Jancsó, 2010) (5. ábra)



5. ábra: Az ortofotó leképezése (Balázsik, 2006)

A digitális ortofotón az olyan magas terepi elemek, mint felszíni építmények és fák talppontjai, csak a térképi vetületben jelennek meg - abban az esetben, amikor ezek dőlt helyzetből látszanak, sűrűbb felvételezést célszerű választani.

A digitális ortofotó a felvétel pillanatában fennállt valóságot ábrázolja - gondoljunk csak a föld- és területhasználati feladatokban tapasztalható előnyökre, hiszen a terepi bejárással szemben lényegesen gyorsabb elemzést tesz lehetővé, biztosítva ezzel számunkra a nagy mennyiségű minőségi (kvalitatív) és mennyiségi (kvantitatív) információt. A minőségi információkhoz koordinátát rendel, a mennyiségi információk pedig számítógéppel mérhetők és elemezhetők.

Ortorektifikáció során a centrális vetítéssel kapott digitális fénykép pixeleit egy ortogonális vetületű képkoordináta-rendszerbe transzformáljuk, amely mentes a perspektív torzulásoktól és a magasságkülönbségekből adódó torzulásoktól. E folyamatot más néven újramintavételezésnek is szokás hívni. A centrális és ortogonális vetítés közötti különbséget főként akkor érzékeljük, ha jelentősek a terepi magasságkülönbségek.

Az ortorektifikáció végrehajtásához szükségünk van egy domborzat- vagy felszínmodellre, ugyanis a számítógép ez alapján számítja ki pixelenként a terepi magasságot, s kizárólag ennek ismeretében tudja az adott koordinátarendszerbe helyezni. A folyamat elvégzéséhez a belső és a külső, valamint a kameramodell tájékozási adatai² is szükségesek.

Ha az átalakított, tehát georeferált, vetületbe helyezett, és újramintavételezett képeket egymáshoz illesztjük, egy mozaikszerű képmontázst, ún. ortofotó-térképet kapunk eredményül. Az összeillesztés folyamatát más néven mozaikolásnak nevezzük, mely rendszerint a képen fellelhető határok mentén történik (utak, földrészletek, házak). Ez megbízhatóbb a síktranszformált fotómozaikoknál, mivel olyan területeken is pontos eredmények kaphatók, ahol nem történt mérés kapcsolópontokra.

2.5 A mérőkamera

A kalibrált mérőkamera olyan repülőgép-fedélzeti mérőműszer, amelynek elrajzolásai ismertek (belső adatok) és kifinomult, rendkívül jó minőségű optikai elemek felhasználásával, precízen síkbafektetett képérzékelőkkel készül. (Bakó, 2011)

A dolgozatom alapjául szolgáló légifelvételt rendelkezésemre bocsátó Interspect Kft. 2009. óta kísérletezik saját fejlesztésű mérőkamerák működésbe állításával. Két korábbi

² Belső tájékozási elemek: a vetítési középpont térbeli koordinátái a képkoordináta-rendszerben (C_k, ξ_0, η_0). Külső tájékozási elemek: X_0, Y_0, Z_0 a vetítési középpont koordinátái, κ a képsík elfordulási szöge, ϕ és ω szögek a képsíknak a vízszintes síkkal bezárt szögei x és y irányban. (Balázsik, 2010)

sikeres fejlesztés (IS2 és IS3)³ után, az IS4 típusú műszer már tizenhat csatornát rögzít nagy felbontással, melyben tizenkét csatorna variálható a látható (RGB) és a közeli infravörös tartományban, a mérőkamera részeit eggyé alakítva a felbontás pedig akár 400 megapixelig növelhető. Elérhető terepi felbontása 0,5 cm.

A felvételt készítő kamera szenzorának adatai:

- Elemi képpont-méret: 6 μ
- Szenzor-felbontás szenzorbeállítástól és a moduláris kiegészítéstől függően:
 - 24 MP (6000 x 4000 pixel)
 - 60 MP (8934 x 6812 pixel)
 - 399 MP (32 254 x 12 356 pixel)

Az optikák és a megválasztható fókusztávolság – középformátumra vonatkoztatva:

- 24, 28, 80, 100, 110, 120, 150 mm
- rekesz: 1,8–22
- zárbesség: 1/8000 – 1 s

Elérhető terepi felbontás: 0,5 cm

Csatornánként 16 bit analóg-digitális jelátalakítás

Maximális csatornaszám multispektrális üzemmódban (60 megapixelig): 16 (pánkromatikus, RGB, és 12 beállított csatorna) (Bakó - Molnár, 2012)

2.6 Elemzések a felbontás függvényében

Jelentős kiértékelési torzulásokat okoz, ha az egyes elemzéseket nem a keresett objektum-típusnak, az adott feladatnak megfelelő felbontás-tartományban készült távérzékelteleményen végzik el (Bakó, 2010).

³ Az IS2 mérőkamerát az előző mérőkamerához képest méret- és tömegcsökkentett, nagyfelbontású légifelvétel-térképezés céljával készítették el. Az IS3 típus fejlesztése során megnövelték a szenzor spektrális felbontását is, így nemcsak a látható, hanem a közeli infravörös tartományon belül, variálható tartományokban is lehetett felvételezni (ennek három érzékelője hat csatornát tud kiolvasni.)

3. Nagyvizek és áradások

3.1 Hazánk folyóvizeinek legnagyobbika: a Duna

Magyarország legjelentősebb vízfolyása, a Duna 417 km hosszan szeli át országunkat, melynek területe teljes egészében a folyam vízgyűjtőjéhez tartozik (801 463 km²). Legnagyobb mellékfolyója a Tisza. (6. ábra)



6. ábra: A Duna vízgyűjtő-területe
(<https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=10&id=33&page=2>)

A Duna mélysége, szélessége és sebessége szakaszjellegenként változó. A felső szakaszon sodró, bevágódó jelleget ölt és kőzeteket bont, a középszakaszon lelassul, az alsó szakaszon pedig tovább lassulva szétterül és lerakja hordalékát. A folyó a síkságokon kiszélesedik (Budapesten, a Lánchídnál 350 m széles) – mélysége azonban ezzel fordított arányban alakul: minél szélesebb a folyó, annál sekélyebb a vízállás. Sebessége a vízmélységgel együtt egyenes arányban nő: Budapesten például 3 és 10 m közötti értékeket mérnek, a Kazán-szorosban viszont akár 75 m mélységet is elérhet, habár utóbbinál a Vas-kapu duzzasztó hatása is növelheti a vízmélységet.

3.2 A dunai árvizek

Az árvíz kialakulásához nagyban hozzájárul a hegyvidéki erdők irtása: a fák árnyékának hiányában gyorsabban olvad a lehullott hó, s az olvadt hó víz formájában elárasztja az alsóbb területeket.

(<http://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=10&id=33&page=2>)

Az utóbbi évtizedben a Duna jelentős áradásokat mutatott Magyarországon: előbb 2002-ben, majd 2006-ban, és legutóbb 2013-ban vonult le az előzőleg regisztráltakhoz képest kimagasló jelentőségű árhullám. (7. ábra) Budapesten 2002. augusztus 19-én 848 cm-en, 2006. április 4-én 861 cm-en, a tavalyi évben az előző árvízszintnél 30 cm-rel magasabb, ezzel a valaha mért legmagasabb árvízszinten, 891 cm-en tetőzött. (Homokiné, 2013)

	Új LNV [cm]	Régi LNV [cm]	Régi LNV időpontja
Nagybajcs	907	872	2002
Komárom	845	802	2002
Esztergom	813	771	2002
Nagymaros	751	714	2006
Budapest	891	860	2006
Dunaújváros	755	742	1965
Dunaföldvár	721	703	1965
Paks	891	872	1965
Dombori	916	894	1965
Baja	989	976	1965
Mohács	964	984	1965

7. ábra: A 2013-as dunai tetőzés során és az eddig mért legnagyobb vízszintek (LNV) (Homokiné, 2013)

A Duna felső szakaszán, a bajor és az osztrák vízgyűjtő területeken 2013. május 30. és június 2. között nagy mennyiségű csapadék hullott le, melynek következtében több Duna menti országban, így hazánkban is történelmi jelentőségű áradást tapasztalhattunk. A nagy dunai árvizekre jellemző, hogy általában több (minimum három) egymást követő csapa-

dékperiódus okoz árvizet (Bodolainé, 1983). Az árvíz kialakulását nemcsak az említett négy napon lehullott nagyobb csapadékmennyiség, hanem a Dunába torkolló folyók áradásai is befolyásolták, melynek következtében Németországtól Ausztrián át Magyarorszáig számos település víz alá került.



8. ábra: Árvízi védekezés 2013 júniusában Pilismaróton (Józsa et al, 2013)

Az Országos Vízügyi Főigazgatóság Országos Vízjelző Szolgálat a Duna, a Tisza és a Dráva vízgyűjtő területeire az év minden napján elkészíti előrejelzéseit, melyek a hazai és külföldi vízügyi szervezetektől és az Országos Meteorológiai Szolgálattól kapott hazai és külföldi mérési adatokon és előrejelzéseken alapulnak. Árvizes időszakban napi többszöri jelentésre is szükség van, ezzel biztosítják - a legújabb meteorológiai adatokat felhasználva - azok pontosságát és megbízhatóságát.

Az Országos Vízjelző Szolgálat saját fejlesztésű előrejelzési rendszert használ, amelynek segítségével több lépcsőn keresztül végzik az előrejelzést: a rendszer mennyiségi csapadék-előrejelzési, hóolvadási, területi átlagértékeket számító, csapadék-lefolyási, árhlám-transzformációs, duzzasztási és hibajavító modulokból áll.

A jelentések várható megbízhatóságát a korábbi előrejelzések hibáinak statisztikai vizsgálatával meghatározott objektív mérőszámokkal mérik.

Az előrejelzett értékek gyakran túllépik a legnagyobb víz (LNV) vagy alulmúlják a legkisebb víz (LKV) szintjét. (<http://www.hydroinfo.hu/hidelo.html>) Az árhullám naponta megtett útvonala a valóságban kb. 100 km.

4. Vízrendszerek modellezése

4.1 A hidrológiai értékelés

Az egyes álló-és folyóvizeket – a bennük rejlő eseti veszélyek miatt – gyakran modellezik matematikai módszerek alapján, melyekre az okozott károk megelőzése érdekében nagy szükség van pl. belvíz vagy árvíz idején.

A vízrendszerek alapvetően két elven modellezhetők:

- fizikai kisminta-modellekkel, illetve
- analitikus és numerikus matematikai módszerrel.

Míg előbbi egy konkrét területre szóló, megbízható, és reprodukálható elv, utóbbi tapasztalatokra támaszkodva, meghatározott együtthatók segítségével ír le bonyolult jelenségeket, melynek megoldásai közelítő és numerikus hibával terheltek. (Krámer, 2012)

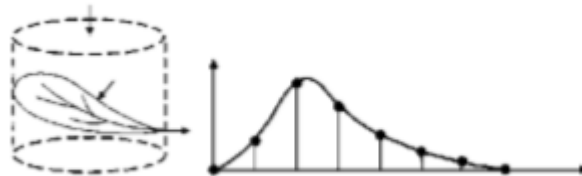
4.2 A hidrodinamika

Vízrendszerek elemzését a léptéknek és a folyamatoknak megfelelően hidrodinamikai, hidromorfológiai és a hidrológiai típusokra osztják. A hidrodinamika időbeli leforgása gyorsabb és térbelileg kisebb területre koncentrálódik a hidromorfológiához és a hidrológiához képest. Tudományosan ezeket különválasztják, ám figyelembe kell venni, hogy mind kölcsönhatnak egymásra. (Krámer, 2012)

4.3 A numerikus modell

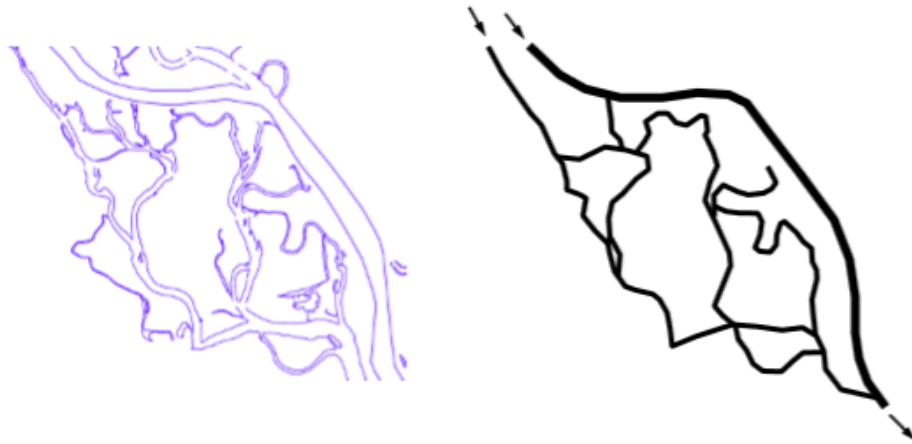
A modellek dimenziójuk alapján lehetnek:

- *0D kiterjedésűek*: általában valamely vízgyűjtő statikai paramétereinek megfigyelésére (pl. lejtés, érdességi tényezők, vízgyűjtő karakterisztika) megállapítására használják. (9. ábra)



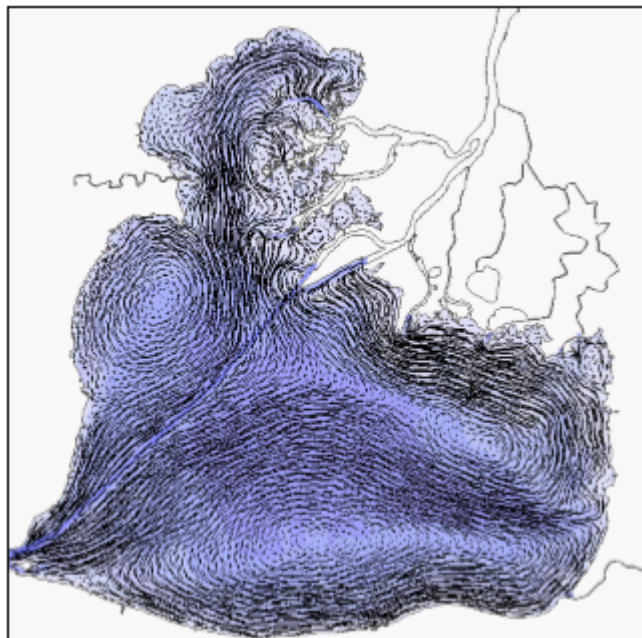
9. ábra: A 0D modell egy példája (Krámer, 2012)

- *1D kiterjedésűek*: Segítségükkel folyóáramlások, szállítási folyamatok irányának hatása becsülhető meg a hosszirányú folyamatra. E módszer ár hullámok, árvíz károk előrejelzésére alkalmas. (10. ábra)



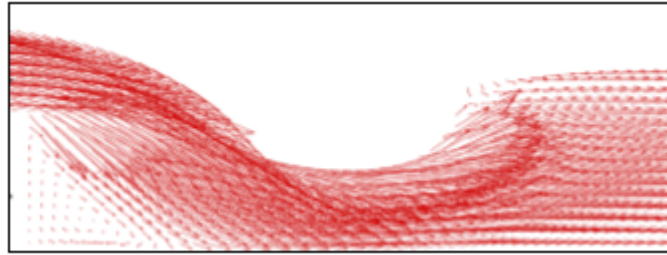
10. ábra: Az 1D modell alkalmazása: baloldalon a víztest, jobb oldalon az ebből levezetett folyásirány látható (Krámer, 2012)

- **2D kiterjedésűek:** Ez esetben a keresztirányú sebesség, a felszínesítés és a koncentráció-eloszlást is figyelembe kell venni, terepi előtésnél viszont nem ismert az áramlás tengelye, a síkbeli viszonyok és a peremfeltételek pedig rendkívül összetettek. Használata akkor előnyös, ha az előtött területek nagysága, az áramkép, és a változók térbeli eloszlására is kíváncsiak vagyunk. A **2DH** (2D Horizontal) modellel mélység mentén történő átlagolással vízszintes változások jeleníthetők meg, melyeket gyakran használnak folyók, sekély tavak és ártéri előtések modellezésére. (11. ábra)



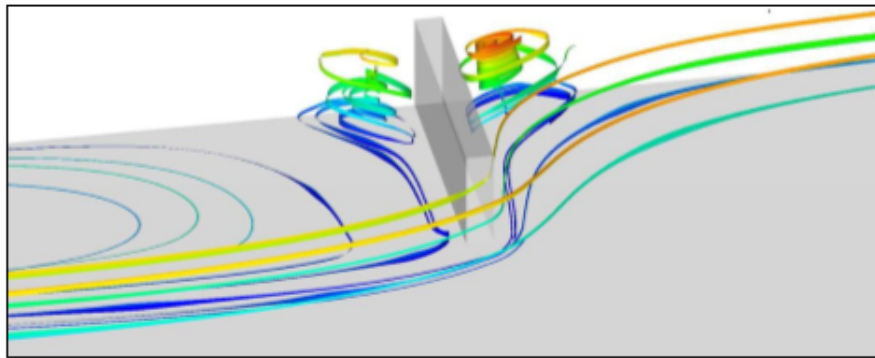
11. ábra: A 2DH modell (Krámer, 2012)

A **2DV** (2D Vertical) modell esetében a leképezés függőleges síkban, közvetlenül, keresztirányban átlagolva történik. Egyszerűsített hullámzást vagy mély, rétegzett tározót modelleznek így. (12. ábra)



12. ábra: A 2DV modell (Krámer, 2012)

- **3D kiterjedésűek:** A jelenségek kiterjedésének, térbeli eloszlásának megállapítására irányuló módszer. Nevéből is következtetni lehet arra, hogy mind a vízszintes, mind a függőleges irányú változásokat megmutatja, pl. csavaráramlás, sűrűségi rétegződés, meder- és felszínközeli folyamatok. (13. ábra)



13. ábra: A 3D modell (Krámer, 2012)

1D vagy 2D modelleket egy területre csak akkor alkalmazhatnak, ha az eredményt egy magasabb dimenziószámú módszerrel előtte leellenőrizték. (Krámer, 2012) Mivel a dolgozatomban feldolgozott hidrodinamikai lefolyásmodell egy 2D numerikus modell, a továbbiakban e modell típus bemutatására törekedtem.

4.2.1 Felszíni folyóvizek 2D modellezése

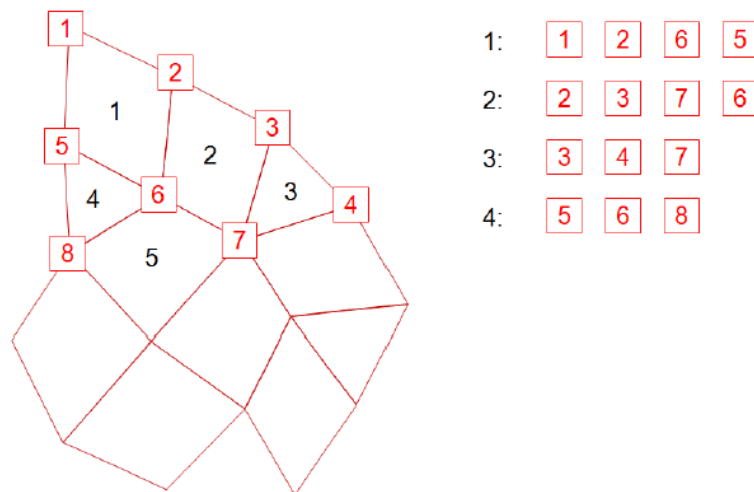
Vízmérnöki feladatokat akkor írnak le 2D modell segítségével, mikor - bár elegendő vízhozamra és vízszintre vonatkozó információt nyújt az 1D modell is, szükség van az áramképre, az elöntött területek nagyságára, a változók térbeli eloszlására, továbbá 2D modell választásához kell folyamodni akkor is, ha a simasági eloszlás vagy az áramlás jellege többdimenziós, vagy az áramlás tengelye változó, máskülönben akkor az 1D modell pontatlan lesz. (Krámer, 2012)

4.2.2 A modell rácshálójának kialakítása

Az áramlási modellegyenleteket rácshálón oldják meg, melynek rendszerint durvább a felbontása, mint a terepadatoké. A 2D numerikus megoldás diszkretizáláson alapszik, melynek egyenleteit véges differencia-, véges térfogat-, valamint végeelem-módszerrel is meg lehet oldani. 2D-ben a rácsháló annak strukturált vagy strukturálatlan szerkezete szerint, illetve az ismeretlenek értelmezése, vagyis a csomóponti értékek vagy a cellán vett átlagos érték alapján alakítható ki. (Krámer, 2012)

4.2.2.1 A strukturálatlan rácshálók

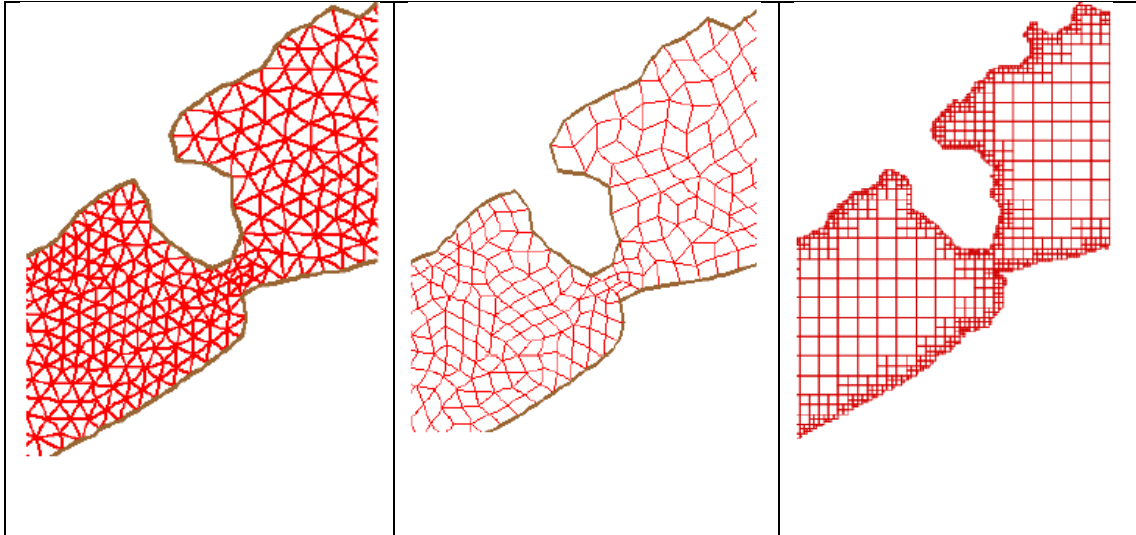
A strukturálatlan rácshálók - a strukturáltakkal szemben - általános, szabálytalan felépítésűek. Fontos szempont, hogy a cellák a modellezett területet hézagmentesen, átfedések nélkül fedjék le. Egy csomópont bármennyi háromszög vagy négyszög alakú rácselemhez csatlakozhat, a csomópontok helyét és a kapcsolódó éleket egy táblázat formájában tárolni szükséges, elősegítve a kereséseket. (14. ábra)



14. ábra: A strukturálatlan modell felépítése, a rácspontok és rácselemek nyilvántartása (Krámer, 2012)

Előnye, hogy - szabálytalansága révén - peremekhez rugalmasan illeszthető, a rácsháló felbontás helyileg szabadon változtatható, helyszínrajzi kialakítása nem szab határt az összetettség terén (pl. folyók mellékágai esetében ez nagy előnyt jelent). Hátránya, hogy előállításuk időigényes. (Krámer, 2012)

Típusai közül megkülönböztetik a legnagyobb rugalmasságot biztosító háromszöghálót (TIN), a vegyesen háromszög- és négyszögelemekből álló rácshálót, valamint a derékszögű rácshálót. (Krámer, 2012) (15. ábra)



15. ábra: A TIN, a háromszög-négyyszög és a derékszögű rácsháló (Krámer, 2012)

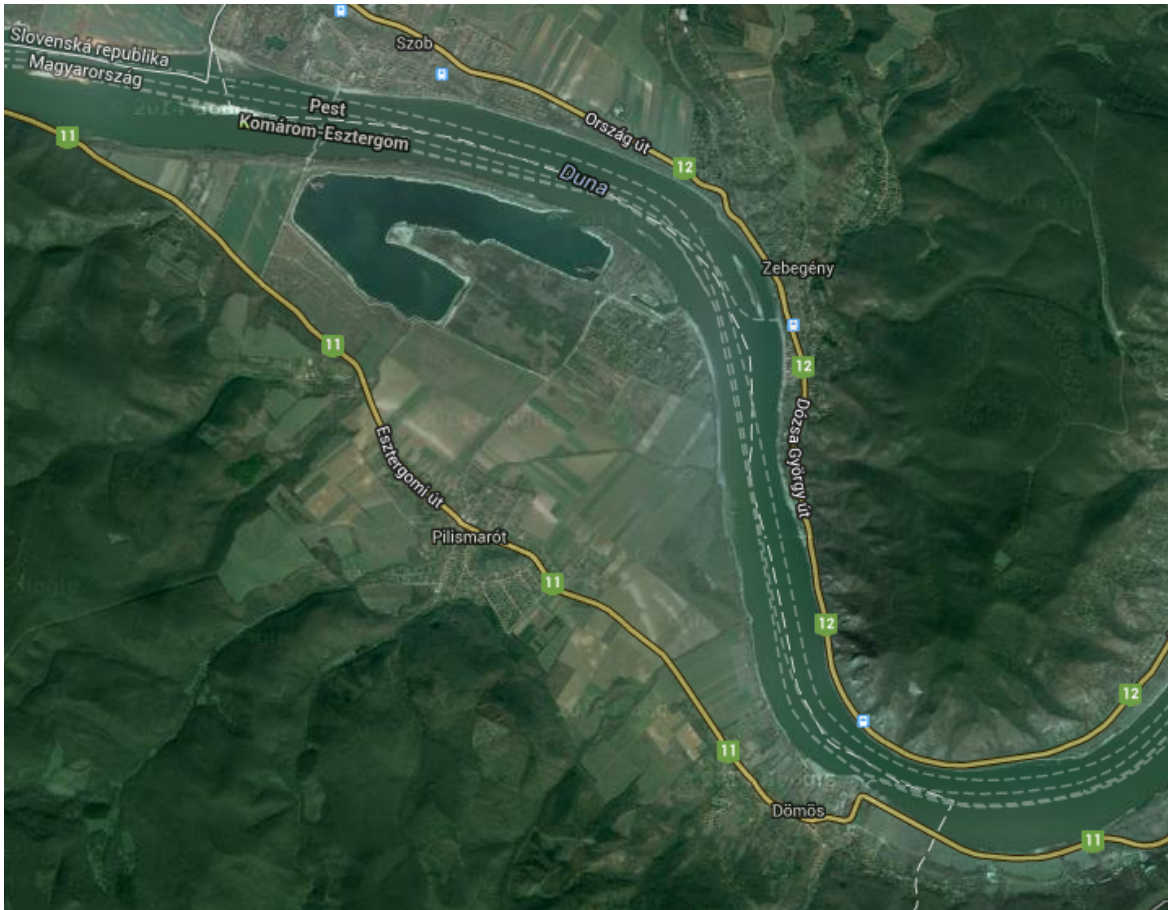
4.3 A LIDAR alapú elöntésmodellek

A repülőgépről végzett lézeralapú felmérés megjelenése egy fontos, új adatforrást jelentett az árvíz-modellezésben, melynek eredményeképpen megjelentek a térbeli kiterjedésű, ártér-topográfiával és a paraméterek megállapításához szükséges növényzetmagasságokkal is rendelkező modellek. Ennek alkalmazásakor a becsült ártéri csomópont súrlódási tényezői közül csupán egyetlen vegetációs attribútum, a növényzet magassága szükséges és különböző áramlási ellenállás-egyenleteket használnak a folyami üledékek leírására, valamint a magas és közepes növényzetre. A változó súrlódási modell lényeges előrelépést mutatott, mely szükségtelenné tette az ártér nem fizikai illesztését és az áramlás súrlódási tényezőit a hagyományos modellkalibrációban. (Mason et al, 2003)

5. Árvízmodellek pontosságának vizsgálata nagyfelbontású légifelvételek alapján

5.1 A vizsgált terület

A vizsgált terület a Duna Pilismarót, Zebegeány és Dömös településeken áthaladó szakasza, pontosabban a nagyvízi meder töltéstől töltésig, illetve a magaspartigig. (16. ábra)



16. ábra: A vizsgált folyamszakasz a Duna Pilismarót és Dömös közötti része a Google Maps műholdképén

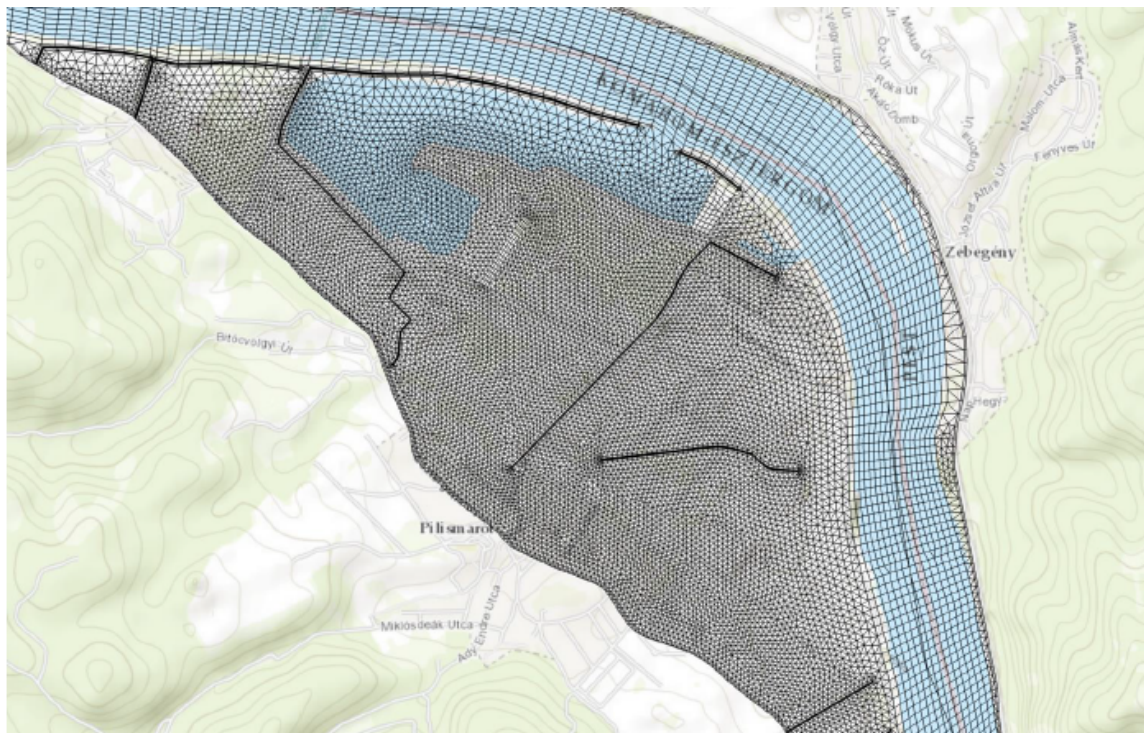
5.2 Az elemzéshez rendelkezésre álló adatok

Az elemzés alapjául egyrészt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék egyetemi docense, Dr. Krámer Tamás által rendelkezésemre bocsátott vektoros állomány, egy 2D-HD lefolyásmodell raszteres formátuma, másrészt az SRTM-alapú, 105 m tengerszint feletti elöntés esetére szimulált elöntésmodell vektoros állománya, illetve az Interspect Kft. által 2013 júniusában, a dunai árvíz lefolyása alatt készített nagyfelbontású ortofotó-térképe szolgált.

5.2.1 A hidraulikai lefolyásmodell

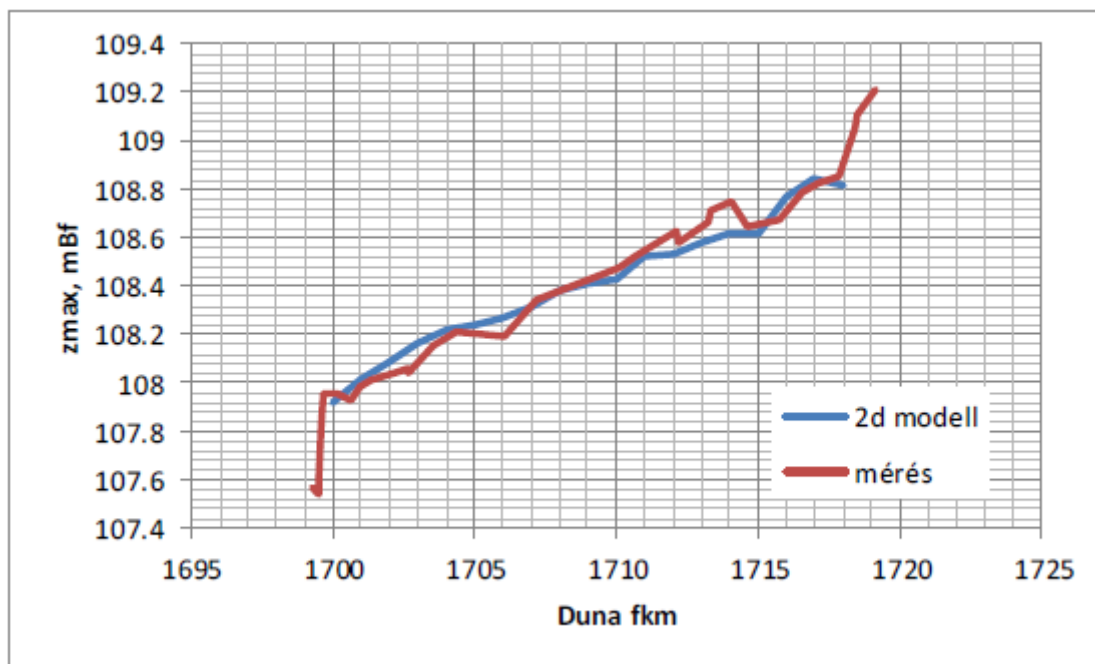
A fent említett előntésmodell szimulációja 2013. május 27-től június 21-ig történt, melyet az SRH-2D vízrendszer-modellező szoftverben állították elő mélységintegrált, Reynolds-átlagolt Navier-Stokes (más néven sekélyvízi) egyenletekre épülő, véges-térfogat módszerrel.

Az 5x5 m-es 2D lefolyásmodell rácshálója strukturálatlan háromszög és négyszög elemekből áll, mely Pilismarót környékén kb. 30 m, a távolabbra eső területeken (a számítási igény csökkentése érdekében) 75-100 m közöttire csökkentett felbontással rendelkezik. A hidrodinamikai modell eredményeit a Tecplot 360 2012R szoftverrel jelenítették meg és dolgozták fel. Ebben a szoftverben a légifelvételhez legközelebbi számítási időpontnak megfelelő mezőket a kívánt felbontáshoz raszterizálták, mégpedig úgy, hogy a számítási elemek által lefedett raszterpontokban a számítási elem átlagos vízmélységét alkalmazták lineáris interpolációval.



17. ábra: A pilismaróti hullámtér számítási rácshálója

A paraméterek hibáját, melyekkel az érdességet közelítik, nem lehet egyértelműen meghatározni, ezért a modellt kalibrálni kell. Kalibrálásnak nevezik azt a folyamatot, amikor paraméterek változtatásával illesztjük a modell eredményét a mérésekre, ezzel csökkentjük a modellparaméterek pontatlan beállítását. (Józsa et al, 2001) (18. ábra)



18. ábra: 2D modell kalibrációja a 2013. júniusi árhullám tetőző szintjeivel, töltés mentén kb. 1 fkm-es közzel rögzítve

Az érdességi osztályt a fedettség szerint rendelték a cellákhoz *Google* térkép alapján: erdős területeken megnövelt érdességgel számoltak. Ezen túlmenően egy optimalizációs feladat volt, amelyben sem a növényzet sűrűsége, sem a mederanyag szemösszetétele nem játszott szerepet: az érdességeket addig változtatták, míg a modellezett és a mért tetőző vízszintek a legjobb egyezést nem mutatták. A kalibrált érdességek az elvárt intervallumba estek: n Manning-féle érdességek, $[s \cdot m^{-1/3}]$ (folyó = 0.0222, nyílt terep = 0.0444, erdő = 0.2) A k simaság az n reciproka: $k=1/n$. Nem volt jelentősége annak, hogy a hullámfront milyen sebességgel éri el a területet.

A terepre 2012-es LIDAR (Light Detection And Ranging angol) felmérésből kapott adatok, a mederre 2010-es, csónakból végzett, ultrahangos, hosszirányban 50 m szelvényközű medermérési adatok álltak rendelkezésre, mely utóbbiakban csak a víz szélén érezhető hibák. A hidraulikai peremfeltételek az esztergomi vízhozam-idősor és a dömösi vízszint-idősor voltak. Ezeket a peremfeltételeket egy, a teljes magyarországi Dunára kiterjedő, kalibrált 1D modellel állították elő.

$$\max Q(\text{Esztergom}) = 9521 \text{ m}^3/\text{s} \text{ 2013.06.08. 12 óra}$$

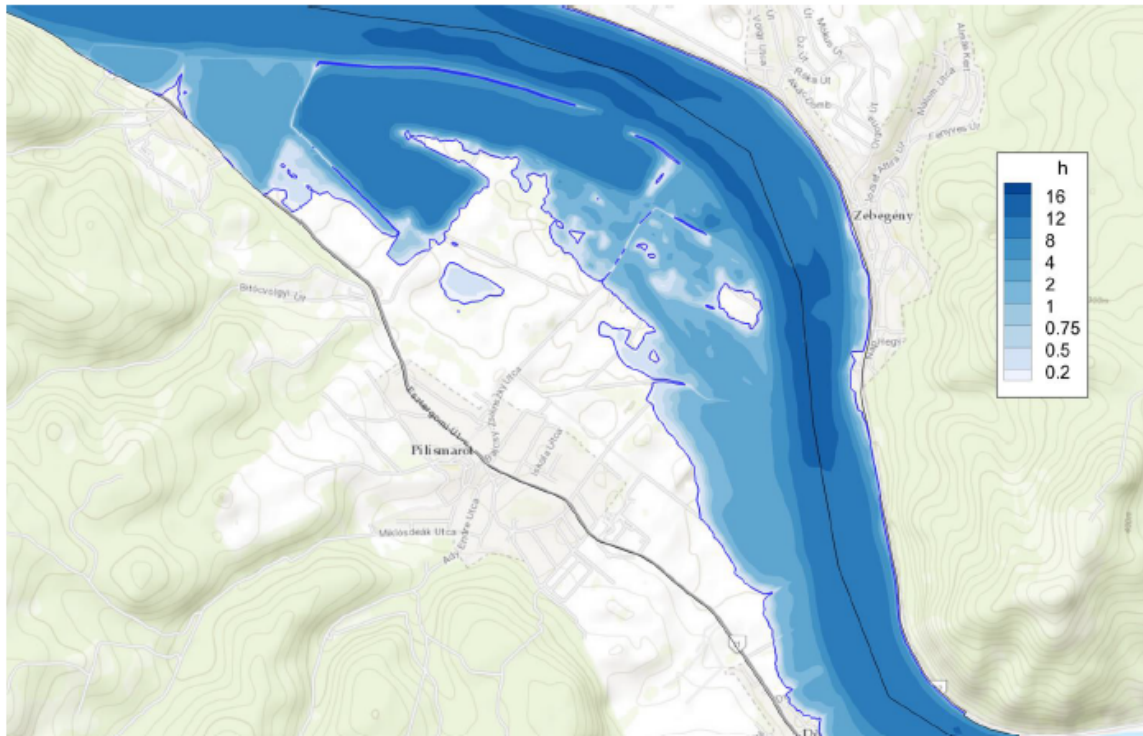
$$\max z(\text{Dömös}) = 107,72 \text{ mBf}^4 \text{ 2013.06.09. 6 óra (Q tetőzése után 18 órával)}$$

$$Q(\text{Esztergom}) = 8760 \text{ m}^3/\text{s} \text{ a légifotó idején}$$

$$z(\text{Dömös}) = 107,58 \text{ mBf} \text{ a légifotó idején}$$

⁴ mBf: a Balti-tenger közepes vízszintjéhez viszonyított magasság méterben

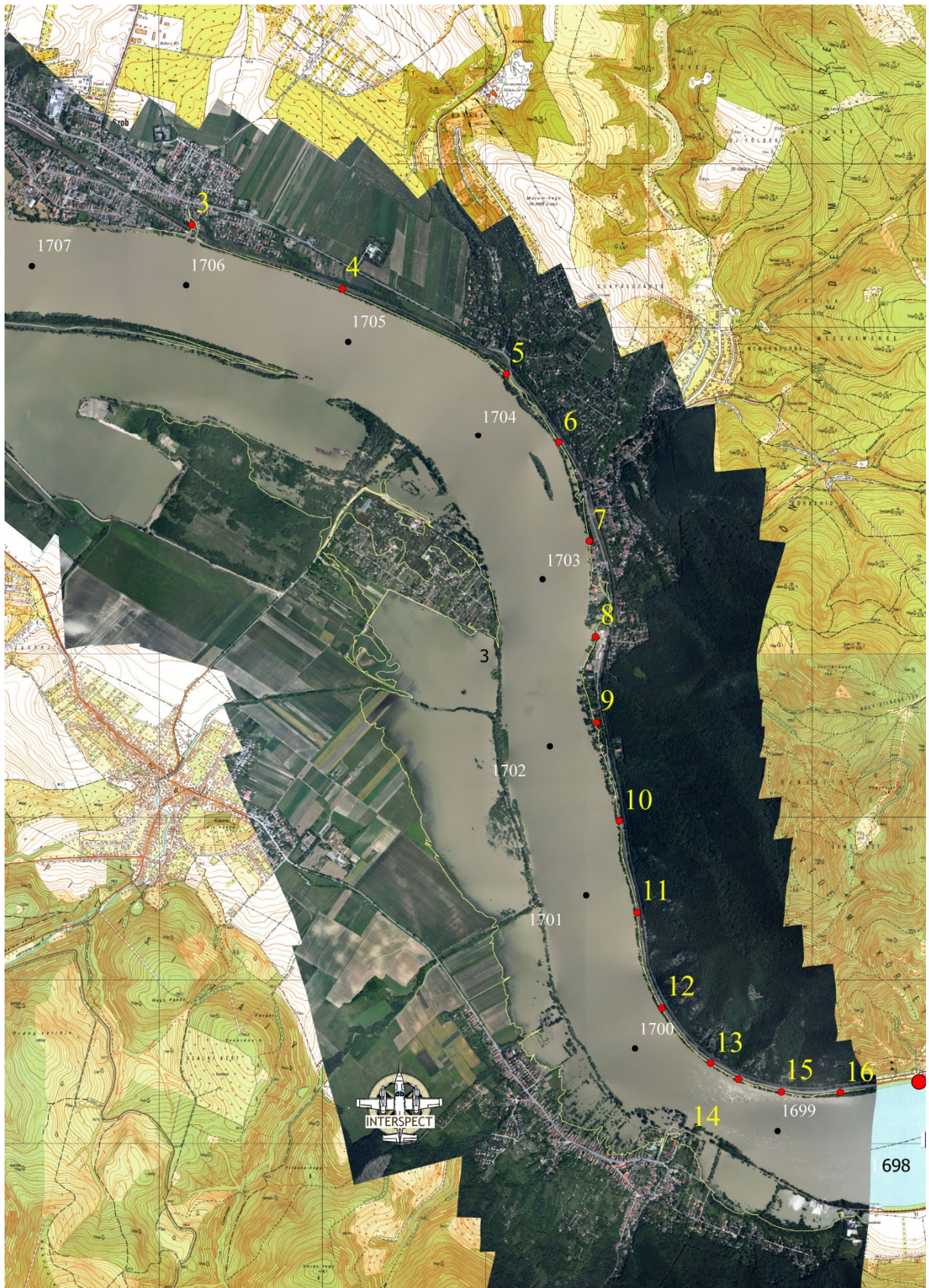
A töltések mentén, a part két átellenes partjának vízszintje között 2-3 dm különbség tapasztalható, így a pilismaróti terület 1D-ben nehezen sematizálható.



19. ábra: Hidraulikailag modellezett elöntés 2013. június 10., 8 óra időpontban

5.2.2 A nagyfelbontású légifelvételből előállt ortofotó-térkép

A légi felmérést az Interspect Kft. az árvíz tetőzését követő napon, 2013. június 10-én, 10:45 és 11:02 között végezte. A felvételezés PA32 típusú repülőgéppel, Interspect IS4 mérőkamerával történt. A felvételekhez egy Topcon HiPer típusú, geodéziai GPS-szel, RTK mérési technológiával 1,5 cm horizontális (vízszintes) és 5 cm vertikális (függőleges) pontosságú kapcsolópontok felmérésére is sor került. A felvételeket egy blokkban történő sugárnyaláb-kiegyenlítésű ortorektifikációval dolgozták fel, az újramintavételezés matematikai módszere köbös konvolúció volt. A felvételek mozaikolása után egységes képi világú, 40 cm terepi felbontású ortofotó-mozaik jött létre. Az 1:4800 térképi méretarányú ortofotó-térkép pontosságát Topcon HiPer típusú, geodéziai GPS készülékek segítségével terepi ellenőrzéssel validálták. A terepmodell 0,5 m részletességű. Az elöntésvédvénnyel kiértékelése vizuális interpretációval, ArcGIS 10.0 szoftverrel történt. Az így létrehozott, a be-következett elöntést ábrázoló vektorgrafikus fedvénnyel egy méternél mindenhol pontosabban rögzíti az árvíz szélső kiterjedését. (20. ábra)



20. ábra: A pilismaróti mintaterületről készített ortofotó-ábra, alatta a terület EOTR szelvényeivel

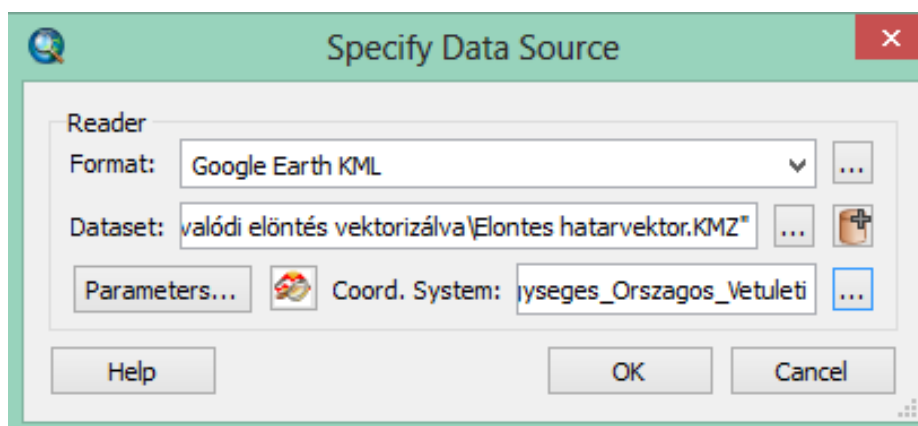
5.3 A felhasznált szoftver

Az ESRI (Environmental Systems Research Institute ^{angol}) által fejlesztett, 2001-ben piacra dobott ArcGIS a térinformatika egy rendkívül komplex, széleskörű elemzést is támogató szoftvercsaládja. Segítségével számos munkaterületen (topográfia, légiforgalom, erdészet, üzlet, hatóság, kultúra stb.) oldhatók meg bonyolult feladatok, s mivel a diplomamunkámhoz szükséges feladatok elvégzésére alkalmas funkciókkal is rendelkezik, ezért munkafelületül az ArcGIS 10.0-ás verzióját választottam, melyet a tanszéken használhattam.

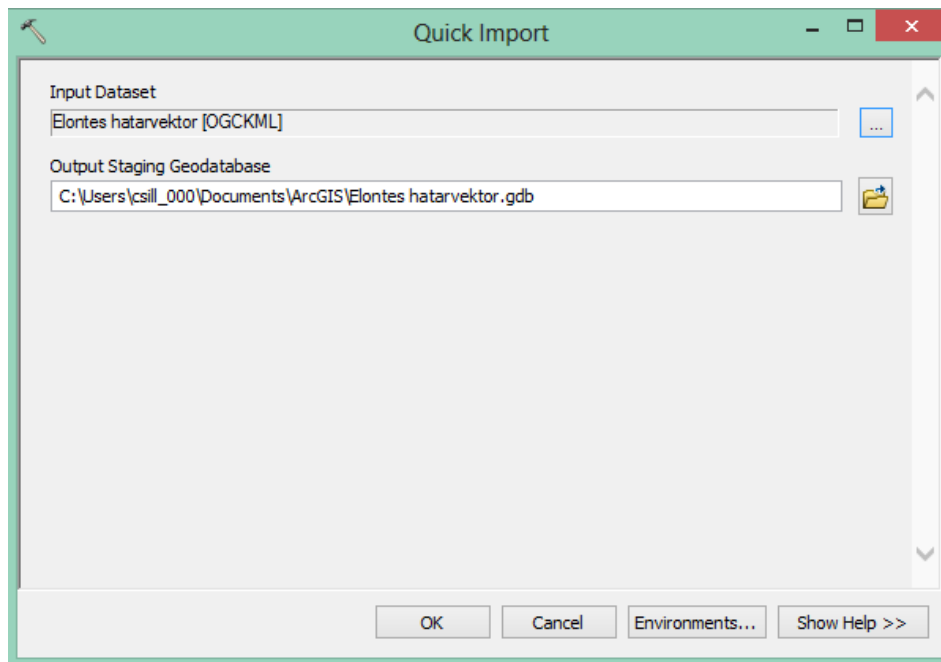
5.4 Az adatok előkészítése: adatbázis létrehozása, georeferálás, vetületbe helyezés, vektorizálás

A felhasznált adatokat a következőkben az alábbiak szerint említem: a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemtől kapott lefolyásmodell: hidraulikai modell, valamint az SRTM-re generált 105 m-es vízszint modell: SRTM 105 m modell, az Interspect Kft. által rendelkezésemre bocsátott előntéshatár fedvény: valós előntés.

Első lépésként a kapott valós előntés poligonját (Elontes hatarvektor.kmz) betöltöttem ArcMapbe. A *Data Interoperability* bővítmény segítségével, a *Quick Import, Specify Data Source* felugró ablakában, a *Format* mezőben kellett megadnom, mely formátumot kívánok importálni: kiválasztottam a Google Earth KML lehetőséget, a *Dataset* mezőnél tallóztam ki az Elontes hatarvektor.kmz fájlt, végül a *Coordinate System* mezőben a HD72 (Egységes Országos Vetület) rendszert adtam meg. (21. ábra, 22. ábra)



21. ábra: KMZ fájl importálása ArcMapbe (1)



22. ábra: KMZ fájl importálása ArcMapbe (2)

Az importálás eredményeképpen megkaptam az adatbázist, amelybe később az adatokat is mentettem (elontesek.gdb). Az adatbázis létrehozását követően a vizuális elemzés elősegítéséhez behívtam a rendelkezésemre bocsátott, vetületi rendszer nélküli ortofotó-áb-rát, melyet a *Georeferencing* eszköztár segítségével illesztettem a valós elöntéshatárhoz. (23. ábra)



23. ábra: Az ArcMap georeferáló eszköztára

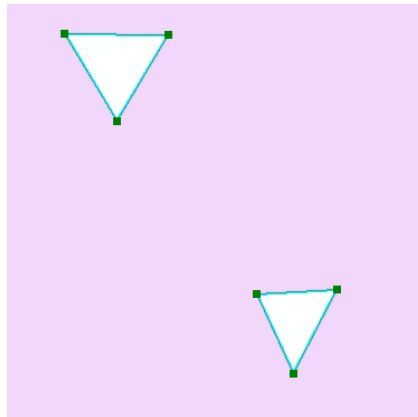
Elsősorban kikapcsoltam az *Auto Adjust* opciót, ugyanis a program már egy pont le-rakása után automatikusan illesztette volna a képet, ami zavaró lett volna. Az *Add Control Points* eszközzel előbb a raszteres (georeferálendő kép), majd a vektoros állományon (va-lós elöntéshatár) jelöltem ki négy, egyértelműen meghatározható pontot, s az *Update Display* és *Update Georeferencing* parancsokkal transzformáltam az EOVRendszerbeli helyére. Ezzel a lépéssel gyakorlatilag ugyanazt az eredményt kaptam, mintha a *Rectify* pa-rancsot indítottam volna el, hiszen megmaradt az eredeti kép és még a téradatokat is hoz-zámentettem. (A *Rectify* parancs annyiban különbözik az általam alkalmazott módszertől, hogy a program újraosztályozza a transzformált képet az új helyén, ez azonban feladatom elvégzésében nem volt alapvető fontosságú.)

A georeferálás elvégezte után importáltam az SRTM 105 m elöntésmodell poligonját, majd a hidraulikai modell raszteres állományát (flow_h.asc), melyet az *Editor* eszköztár segítségével vektorizáltam. (24. ábra)



24. ábra: Az ArcMap Editor eszköztára

Ehhez mindenekelőtt létrehoztam egy új, *hidraulikailag modellezett* nevű *Feature Class*t az adatbázisban, majd a *Start Editing* opcióval elindítottam a szerkesztést, s a *Constructions Tool* ablakban létrehoztam egy új, poligon alapú *Feature Template*-et, melyben a szerkesztést végeztem. A vonalakat a *Straight Segment* eszközzel húztam meg, s használtam az *Edit Vertices* eszköz több lehetőségét is, mint például a *Modify Sketch Vertices*, az *Add Vertex* vagy a *Delete Vertex*. A hidraulikailag modellezett elöntési területen belül található, kisebb kiterjedésű, szárazan maradt lefolyástalan területeket a *Continue Feature Tool*al szerkesztettem meg. (25. ábra)

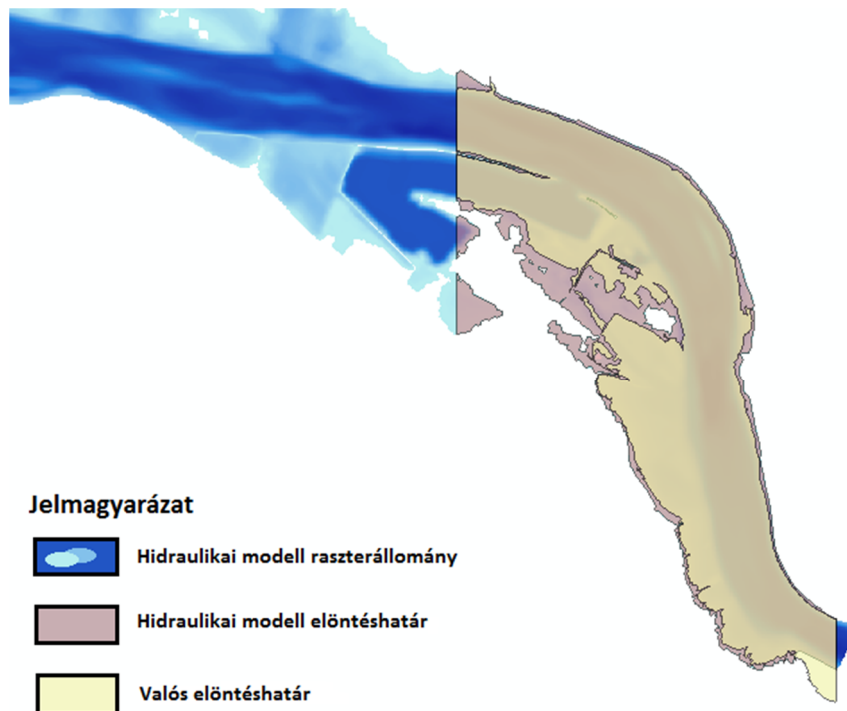


25. ábra: Szárazon maradt lefolyástalan területek vágása a poligonba

A műveletek elvégzése végén az összes vektoros állományt kimentettem shape formátumba, majd importáltam az *elontesek.gdb* adatbázisba.

5.5 Az elöntéshatárok egyeztetése

Az elöntéshatárok poligonjainak elkészültével összevettem őket a légifotó alapján kiértékelt, valószínűként tekintett elöntésvektorral, az elemzéshez azonban fontos a fedvények által feledett terület pontos körülhatárolása, egységesítése, ugyanis az eltérésből kifolyólag igen szélsőséges eredmények születhetnek. Az *Editor* eszköztár *Cut Polygons Tool* segítségével egységesen levágtam a poligonokat azon a határon, ahol még ugyanazon területet lefedték (legkisebb befoglaló téglalap), a vizsgálati területen kívül eső területeket pedig egyszerűen kitöröltem. (26. ábra)



26. ábra: A 2013. június 10-i időpontra modellezett, és az aznap készített légifelvétel alapján kiértékelt elöntéshatár levágva (alul sötétkéssel a teljes modellezett vízmélység raszterállomány, felette lilával a vektorizált, hidraulikailag modellezett elöntéshatár

A hidraulikailag modellezett és az ortofotóról levezetett, valós elöntés területét a *Feature Class*ok attribútum tábláiban vizsgáltam meg. Az ArcMap a terület (*Area*) mértékegységeit az aktuálisan használt vetületi rendszer mértékegységében adja meg, így mivel EOVB-ban dolgoztam, a területet m²-ben írta ki. A terület nagyságát árnyaltabban fejezi ki a hektárban megadott érték, ezért az attribútum táblában átszámoltam a négyzetméter értékeket hektárra. A *Table Options* menü *Add Field...* parancsával létrehoztam egy új mezőt, megadtam a mező nevét (*terulet_ha*) és típusát (*Long Integer*) (27. ábra), majd a létrehozott mezőn jobb egérgombbal kattintva kiválasztottam a *Calculate Geometry* opciót, ahol terület esetén kiválasztottam a *Hectares [ha]* cél-mértékegységet (28. ábra).

Add Field

Name:

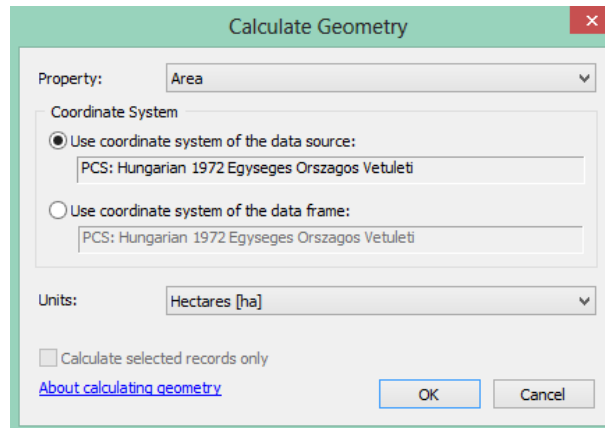
Type:

Field Properties

Alias	
Allow NULL Values	Yes
Default Value	

OK Cancel

27. ábra: Mező hozzáadása az attribútum táblában

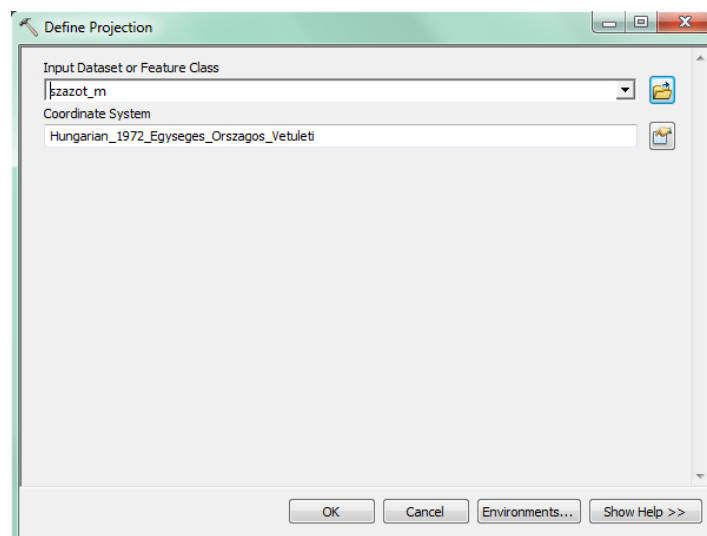


28. ábra: Területérték hektárban való kiszámítása az attribútum táblában

OBJECTID	SHAPE	SHAPE_Length	SHAPE_Area	terület ha	kerület km
1	Polygon Z	31495,027526	7327179,060333	733	31

29. ábra: A valódi elöntéshatár attribútum táblája a kiszámított hektár-értékkel

Az SRTM 105 m elöntésmódellet is vizsgáltam összevetésemhez: mivel ennek a fájlnak nem volt vetületi rendszere, úgy az ArcToolbox *Data Management, Projections And Transformations, Define Projection* eszközével rendeltem hozzá a HD72 (EOV) rendszert: bemeneti fájlként megadtam a szazot_m nevű feature class-t, vetületnek pedig kiválasztottam a HD72-t. (30. ábra)

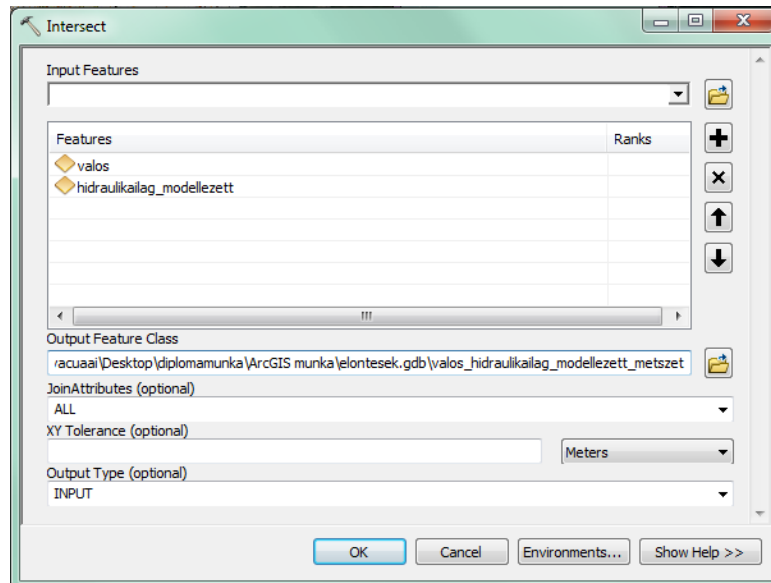


30. ábra: Az SRTM-re generált, 105 m-es vízszintmodell elöntéshatár vetületének megadása a Define Project eszköz segítségével

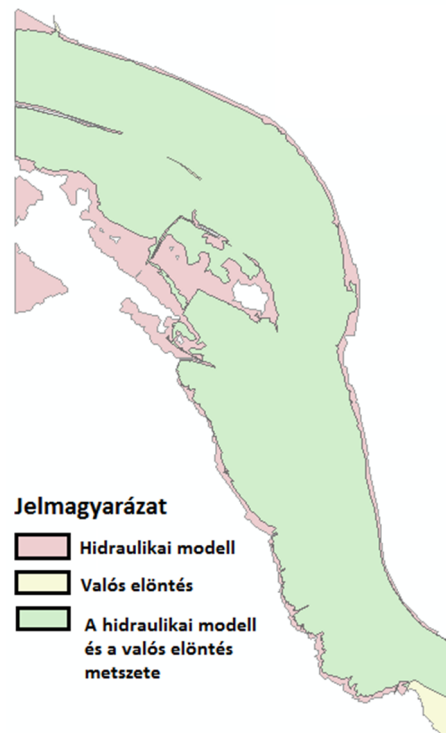
5.6 Metszetek készítése

Az elöntéshatárok különbségének számszerű és vizuális szemléltetéséhez különböző metszeteket készítettem. A *Geoprocessing* menü *Intersect* eszközével, a valódi elöntéshatárt alapul véve, először a hidraulikailag modellezett, majd a 105 m elöntésmodell metszetét készítettem el, melyeket az adatbázisba mentettem el:

hidraulikailag_modellezett_metszet.shp, szazot_m_metszet.shp. (31. ábra, 32. ábra)



31. ábra: A modellezett és a valódi elöntés metszetének előkészítése *Intersect* eszközzel



32. ábra: Az *Intersect* művelet eredménye a zöld színnel ábrázolt terület, amely a rózsaszínű modellezett és a sárga színű ortofotóról levezetett elöntéshatár metszete

A valódi elöntéshatárnak az ortofotó-térképen kiértékelt poligont vettem alapul, s az ettől való eltéréseket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

	Elöntött terület (ha)	Terület különbség (ha)	Terület különbség (%)
Valós elöntés	732,7179	-	-
Hidraulikai modell	858,0730	+125,3551	17,1082
SRTM 105 m modell	710,3606	-22,3573	-2,6055

1. táblázat: A valódi és a modellezett elöntések közötti eltérések a lehatárolt mintaterületen

A metszetek hektárban való területének különbségének kimutatására az alábbi táblázatot készítettem:

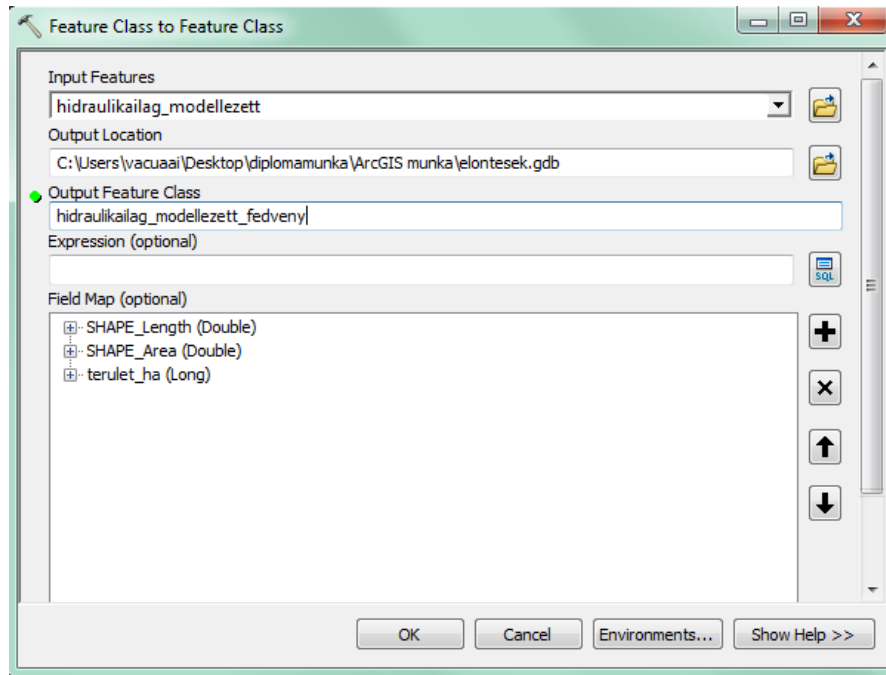
	Valós elöntés	Hidraulikai modell	SRTM 105 m modell
Valós elöntés	-	858	683
Hidraulikai modell	858	-	698
SRTM 105 m modell	683	698	-

2. táblázat: Az elöntésfedvények metszeteinek területértékei

Mint látható, ezek az értékek igencsak eltérnek egymástól, és ez az összehasonlítási módszer nem feltétlenül ad hiteles, valószerű alapot az összehasonlításhoz, hiszen előfordulhat, hogy az eltérések csupán egy-egy bizonyos terület kiugró hibaértéke miatt ugranak meg. Ennek felderítésére az elöntésmodelleket az ortofotó-térkép ábrája fölé helyezve, át-tetszővé módosítva, megnéztem, mely területeken található nagy különbségek, s ezek alapján, különböző szempontokat tekintve (növényborítottság, beépített terület, szántóföld) felosztottam három fedvényre a vizsgált folyamszakaszra modellezett elöntési területeket.

5.7 Fedvényalapú elemzés felszínborítottság alapján

A felszínborítottság alapján történő, fedvényalapú vizsgálat előkészítéséhez - az eredeti elöntéshatárokat megőrizve - kimentettem az elöntéspolygonokat egy-egy új shape fájlba: a rétegeken jobb egérgombbal kattintva kiválasztottam a *Data*, *Export Data* opciót (hidraulikailag_modellezett_fedveny.shp, szazot_m_fedveny.shp, valos_fedveny.shp), majd importáltam ezeket az adatbázisba (*Import, Feature Class (single)...*). (33. ábra)



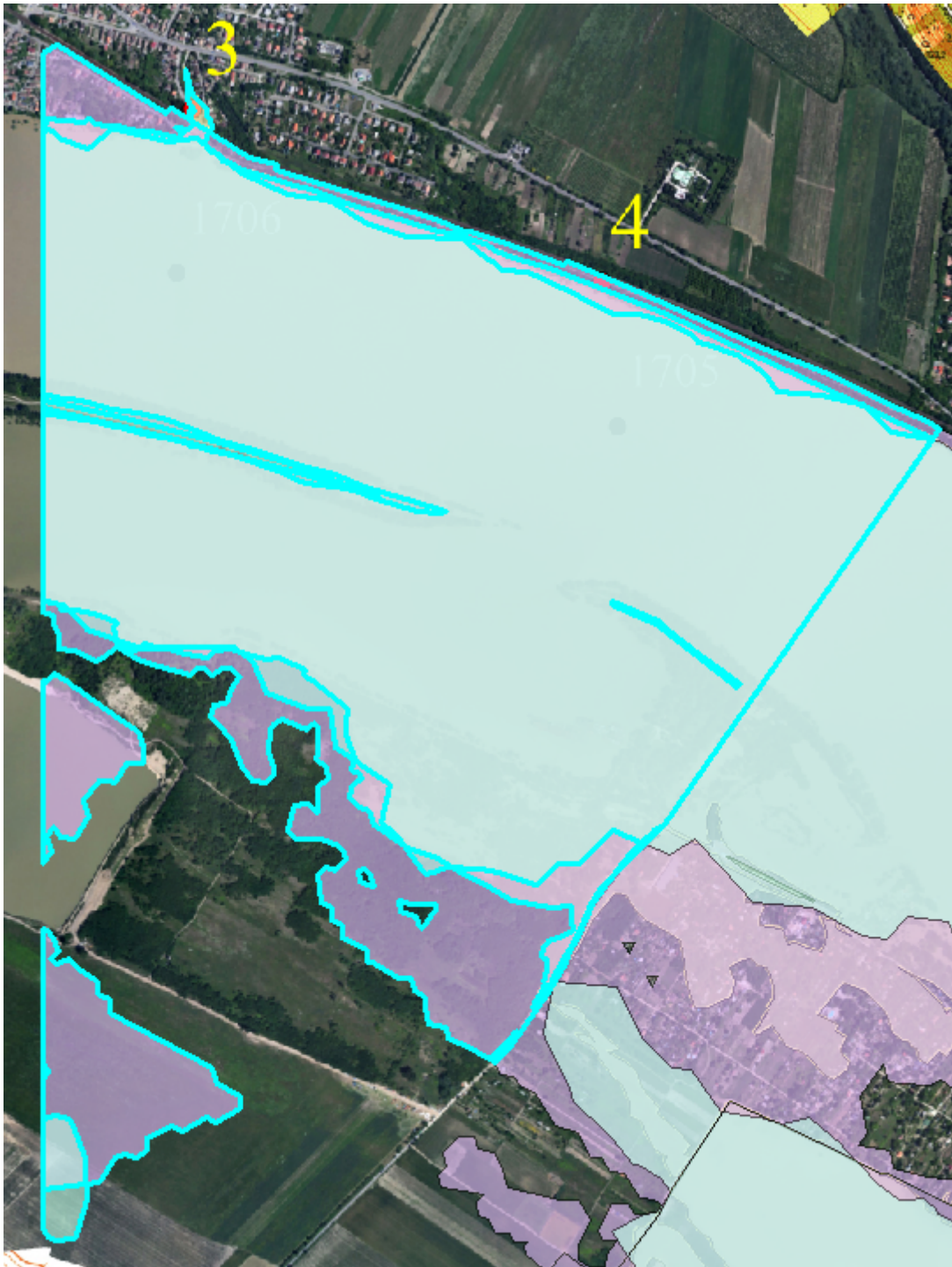
33. ábra: Feature Class egyszerű behívása az adatbázisba

Az újonnan létrejött shape-eket az *Editor* menü *Cut Polygon* eszközével vágtam meg, kialakítva ezzel a fedvényeket, melyeket a felszínborítottság alapján határoztam meg.

Az első, főként erdővel borított terület határát a folyam áramlási útvonalára merőlegesen, azt követően pedig a fákkal borított terület és a beépített üdülőterület határán, egy út középvonalában húztam meg. (34. ábra, 35. ábra)



34. ábra: Az első fedvény határvonalának szerkesztése: a poligonvágó eszközzel egy, az ortofotó-térkép ábráján jól kivehető út mentén húztam meg az erdővel borított terület és a -következő fedvény alapját képező - lakóterület közötti határ vonalát



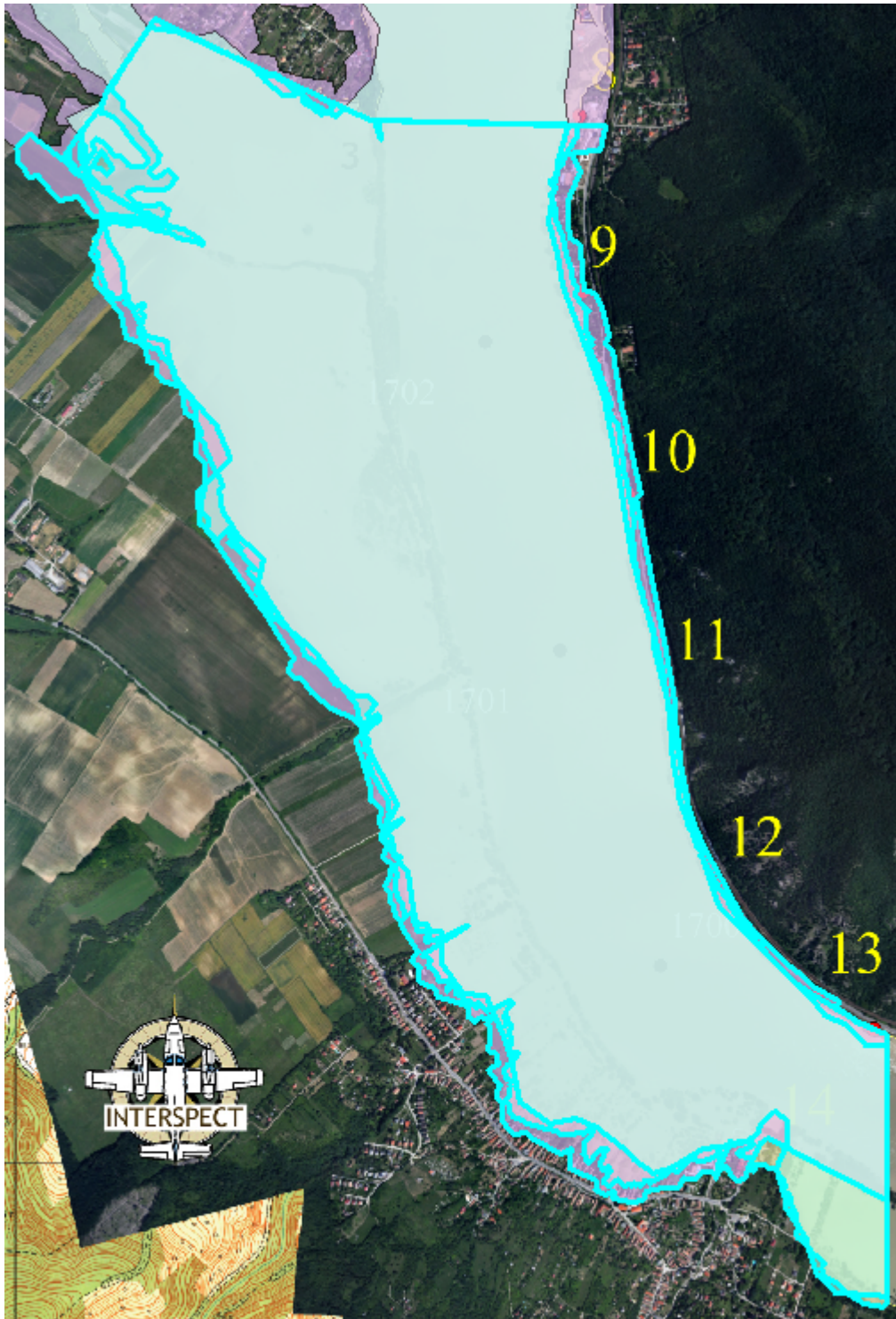
35. ábra: Az első fedvényt a javarészt erdővel borított terület alapján határoztam meg (a képen mind a három elöntési terület kijelölve látható)

A következő lépés a zömmel beépített területtel borított fedvény határának definiálása volt: a határvonalat a Duna áramlására merőleges egyenest húzva, majd azt az üdülőterületen több, jól elkülöníthető út tengelyében folytatva szerkesztettem meg. (36. ábra)



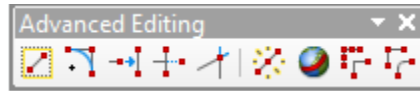
36. ábra: Beépített terület jellemzi a második fedvény felszínboritottságát (a képen mind a három elöntési terület kijelölve látható)

A harmadik vizsgálati fedvény a két előző levágás után fennmaradt, a főleg mezőgazdasági művelés alatt álló, szántóföldi területek alkotta elöntésrész volt. (37. ábra)



37. ábra: A harmadik fedvényen a művelés alatt álló területek vannak többségben (a képen mind a három elöntési terület kijelölve látható)

Az így körbehatárolt, topológiáját tekintve még *multipart* területek geometriailag különálló (látszólag szétválasztott), attribútumaiban mégis egynek minősülő (együttesen kezelhető) poligonok voltak, ezért az attribútum adataikat is érintő különválasztásukhoz az *Advanced Editing* eszköztár *Explode Multipart Feature* eszközét használtam. (38. ábra)



38. ábra: Az Advanced Editing eszköztár

E funkció eredményeként a vágási vonal mentén olyan elkülönülő poligonok jöttek létre, melyek geometriailag és attribútum adatok alapján is külön szerepeltek, területileg viszont valamelyik fedvényhez tartoztak, ezért ezeket az *Editor* eszköztár *Merge* eszközével csatoltam az „anyaterülethez”.



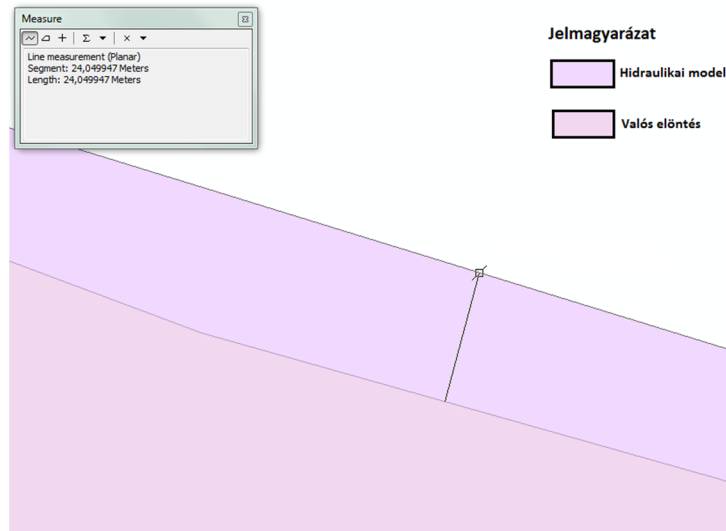
39. ábra: Az Editor eszköztár Merge eszközével egyesítettem az egybetartozó poligonokat

5.7.1 Növényzeti fedettség

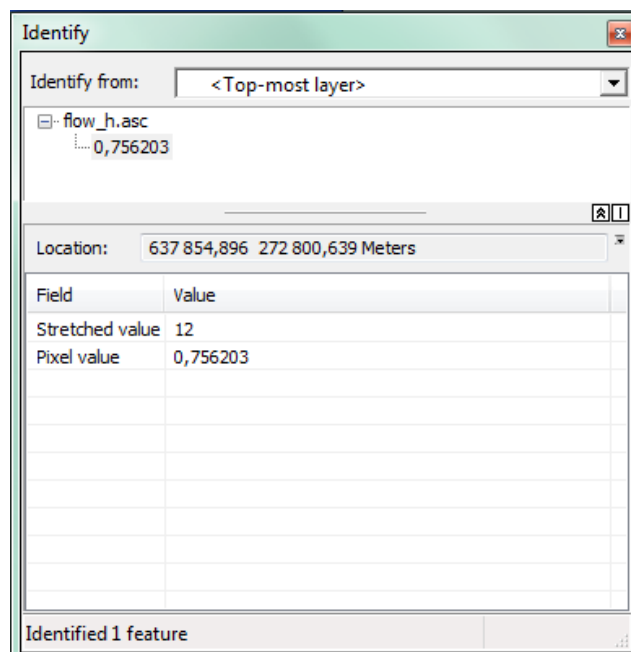
Az első fedvényen, melyen a felszínborítottságot tekintve az erdős területek dominálnak, több helyen is látható, hogy a modellek különböző mértékben túlbecslik az elöntött terület nagyságát.

A Duna folyásirányának bal partján, a Szob és Zebegény közötti kanyarodó szakaszon a modellek jól közelítik a valós elöntés határát és csak elhanyagolható eltérés jelentkezik közöttük: a hidraulikai modell és a valós elöntést mutató poligon távolságát a *Measure* eszközzel, a határvonalakra merőleges egyenes mentén mérve 24 m-re állapítottam meg. (40. ábra) Ugyanezt a módszert alkalmaztam az SRTM 105 m elöntésmo­dellre is, itt azonban csak 10 m-es átlagos eltérést tapasztaltam: előző esetben a modell túlbecsli, utóbbinál alulbecsli a valós elöntést. A kapott raszteres állományból az ArcMap *Identify* eszközének segítségével megállapítható, miként változik a vízszint az adott területen. A valóditól eltérő,

hidraulikailag modellezett elöntés vízmélysége értékei itt viszonylag alacsonyok, 10-30 cm között váltakoznak. (41. ábra)



40. ábra: A Measure eszköz segítségével két poligon határa közötti mérhető a távolságok (Length: 24,0499 m)

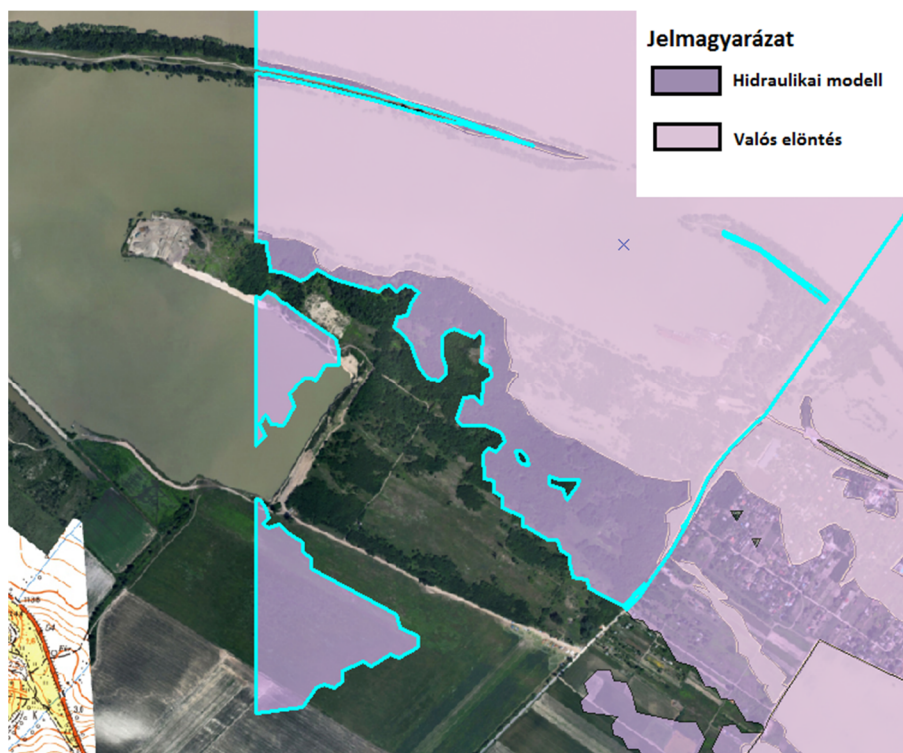


41. ábra: Az Identify eszközt alkalmazva megállapíthatók a méter mértékegységben megadott vízmélységek (0,7562 m)

A fedvényen belüli nagyobb eltérés a nyugati oldalon található, a pilismaróti területhez tartozó, a Dunától kikotort, patkó alakú Felső-öböl környezetében jelentkezett. (42. ábra) (Itt megjegyzem, hogy feltehetően a hidraulikai modell bemeneti terepadataiból keletkezett az a hiba, hogy az öblözet patkójának déli íve - a vetületi beállítások ellenére - nem az ortofotó-térképen ábrázolt, valódi helyén észlelhető. Ez az elérés azonban csak erre a kis kiterjedésű területre jellemző, ugyanis a hidraulikai modell elöntéshatárának többi része a szükséges pontossággal, a vetületi rendszerben elfoglalt helyükön szemlélhető.) A Google Föld szolgáltatása a munkaterületen átlagosan 7 m geometriai hibával terhelt, de gyors el-

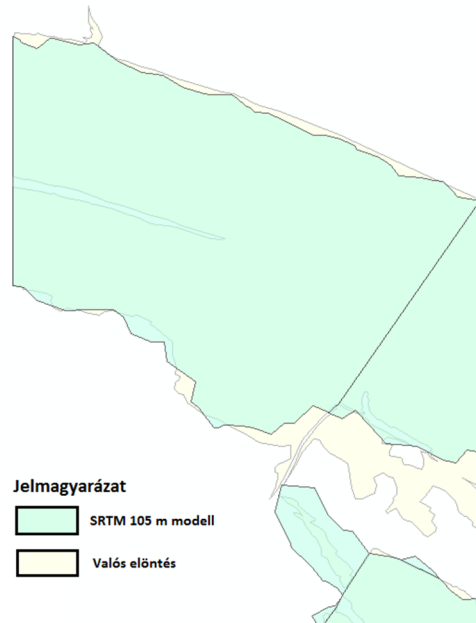
lenőrzésre felhasználható: ezt kihasználva behívtam a valódi elöntéshatárt, így láttam, hogy a valóságban mely területeket öntötte el a víz: a ritkábban fásított területeket, mint a Felső-öblöt a Dunától elhatároló, mesterséges félszigeteket hamarabb, amit mindkét modell helyesen közelített, habár a hidraulikai modell a benyúló félszigetek középső részét száraznak modellezte. A nagyobb különbségeket beljebb, az erdővel sűrűbben övezett szárazföldi részen tapasztaltam. A vízmélység ezeken a területeken átlagosan 0,01- 2,49 m között mozgott. Egy egyenes mentén, azonos közzel mért vízmélységek a hidraulikai modellen: 2,29, 1,66, 1,76, 1,65, 1,11, 0,51, 0,32, 0,19 m.

A legszembetűnőbb eltérést a Felső-öböl déli patkójától délre található elöntött szántóföldi terület jelentette, melyre fél méteres vízmélységet is találtam.



42. ábra: A hidraulikai modell az erdővel borított területen jelentősen túlbecsüli a valóságban tapasztalt elöntést. Ahogy az ábrán is látható, a Dunától elválasztott Felső-öböl déli patkójánál eltérés jelentkezik a valóság és a modell között, mely utóbbi a hibás vagy részletszegény terepmodell bemeneti adatának következménye lehet

E szántóföld egy kis részének elöntését az SRTM 105 m modell is előrejelezte, ám a különbség csak kismértékű volt. Ezen elöntésmodellt szemlélve kijelenthető, hogy jól közelítette a valóságban bekövetkezett elöntést, ugyanis határvonala végig a valódi elöntéshatárhoz közel, 1,5 és 84 m közötti távolságra húzódott, melyek a csupán 90 m részletességű globális SRTM terepmodellhez képest jó értékek. (43. ábra)



43. ábra: Az SRTM-alapú 105 m modell jól közelíti a valós elöntéshatárt

A következőleg vizsgált, nagy különbségeket mutató területrészt bár e növényzeti fedettségű fedvényhez tartozik, a terület beépített jellege miatt szorosabban kapcsolódik a következő fejezethez: Pilismaróttal átellenben, a Duna bal partján fekvő Szob településre a valóságban csak kis területre jutott be a víz (a Kálvária utca, a Duna utca, és a Duna folyóvíze által körbefogott háromszögben), mely területet a hidraulikai modell nem jelzett. A hidraulikai modellben a vasút vonalát követve, a Táncsics Mihály utcában található Szob-alsó vasútállomásig ért el az árvíz. (44. ábra)



44. ábra: A modellezett és a valódi elöntés közti különbség a szobi Duna-parton: a lila színnel a modellezett, sárga színnel a valódi elöntés látható

Az *Identify* eszköz segítségével egyazon egyenesen, azonos közökkel haladva a hidraulikai előtétmodellen az alábbi vízmélységeket tapasztaltam: 2,85, 2,25, 1,69, 1,45, 1,20, 0,96, 0,48, 0,25 m, a modellezett vízmélység sehol sem haladta meg a 3,5 m-t ezen a területen.

A fedvények területkülönbségeit az alábbi táblázatban foglaltam össze, melyeket a hidraulikailag_modellezett_fedveny.shp, a szazot_m_fedveny.shp és a valos_fedveny.shp attribútum tábláiban előzetesen megadott, terület_ha mezőiben a már korábban is használt *Calculate Geometry* paranccsal számítottam ki:

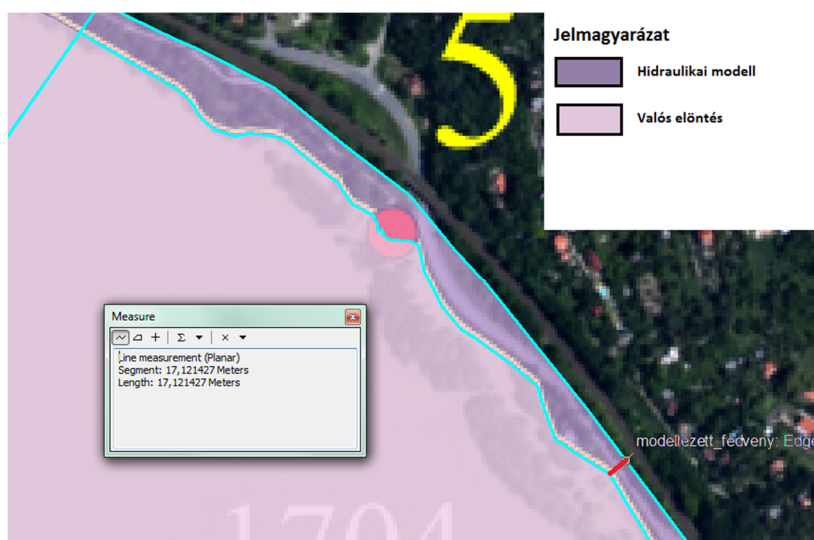
	Terület (ha)
Valós előtét	209
Hidraulikai modell	260
SRTM 105 m modell	207

3. táblázat: A növényzeti borítottságra alapuló fedvény: különbség a valódi és a modellezett előtét határok között
(A táblázatban egész számra kerekített értékek olvashatók)

5.7.2 Beépített területek

A második fedvényen található pilismaróti üdülőterület kb. 50 hektáron terül el, és bár a nyaralóházak nem olyan sűrűségben helyezkednek el, mint egy beépített település esetében, a kerítések, a kertek és az azokban található objektumok mind akadályozzák a víz terjedésének sebességét.

A Duna kanyarodásánál, Zebegény település déli részénél 125 m volt a két előtét határra állított merőleges mentén mért legnagyobb különbség, a legkisebbet a település határán keresztülhaladó 12-es főút mentén mértem, 17 m-en. (45. ábra)



45. ábra: Az ábrán látható piros szakasz jelzi a két poligon közti legkisebb, 17 m-es különbséget

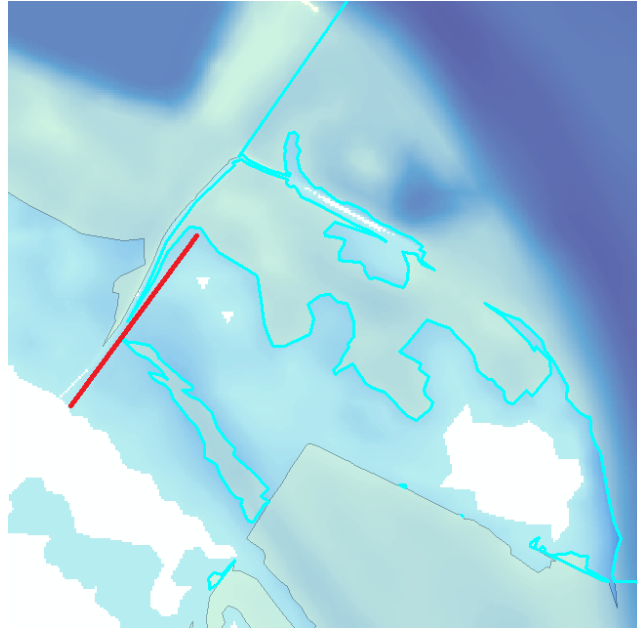
A hidraulikai modell szerint az üdülőterület - egy kisebb, domborzatilag magasabban fekvő, száraz foltot leszámítva - teljesen víz alá került, ám a valóságban annak csupán felét borította víz. (46. ábra)



46. ábra: Az üdülőterület hidraulikailag modellezett (lila felületszínezéssel) és valódi (sárga kontúrral) elöntése

Ennek oka valószínűleg a domborzati adatok hibája. A területet vizsgálva megfigyeltem, annak ellenére, hogy a hidraulikai modell az elöntött terület nagyságában eltér a valóságtól, jól közelíti azt, ugyanis a terepi magasságoknak megfelelően alakulnak a vízszintek: ahol mélyebb terepi árkok vannak, oda a víz könnyebben eljut, így mélyebb vizet is tapasztalunk. A valódi elöntéshatárt a hidraulikai modell fölé helyezve látható, hogy azokon a területeken, ahol a víz valóban jelen volt, ott a modell mélyebb vízmélységet mutat. Ennek értelmében a strandterület mentén húzódó út, valamint az elöntött szánóföldek melletti, Nyárfa és Diófa utca között elterülő kisebb terület a modell szerint sem került víz alá. A hidraulikai modell összességében e fedvényen belül is túlbecsli a valóságban elöntött terület nagyságát, mégpedig 51 hektárral, ami ilyen kis mintaterületen jelentős különbségnek számít.

Az eltérést mutató (a modell által elöntött, a valóságban mégis szárazon maradt) területen a következő vízmélységeket mértem: 1,40, 1,02, 0,88, 0,64, 0,60, 0,64, 0,97, 1,23, 1,40, 1,46, 1,13, 0,93, 0,95, 0,97, 1,00, 0,55, 0,19, 0,01 m. (47. ábra)



47. ábra: A hidraulikailag modellezett vízmélységek idomulnak a valós elöntéshatárhoz. A piros szakasz jelzi a mért vízmélységek vonalát.

A 105 m vízszinttel, SRTM-re generált modell előrejelzései itt is jobban közelítik a valódi elöntést: az üdülőterületet ugyan szárazon hagyva, a domborzati formákat követve, kisebb-nagyobb eltéréssel (45-205 m) mindehol a valódi elöntés határát követi. A beépített területtől délre fekvő, hosszan benyúló, keskeny, valóságban is elöntött terület nagyságát azonban túllépi. Megállapítható, hogy az SRTM 105 m elöntésmodell - a mért területet alapul véve - 15 hektárral alulbecsli a valódi elöntést, ami 3-4-szer jobb közelítés a LIDAR felmérésre alapozott hidrodinamikai modell közelítésénél.



48. ábra: Az SRTM 105 m lefolyásmodell jól konvergál a valódi elöntéshez

Az egyes fedvények területkülönbségeit a következő táblázat mutatja:

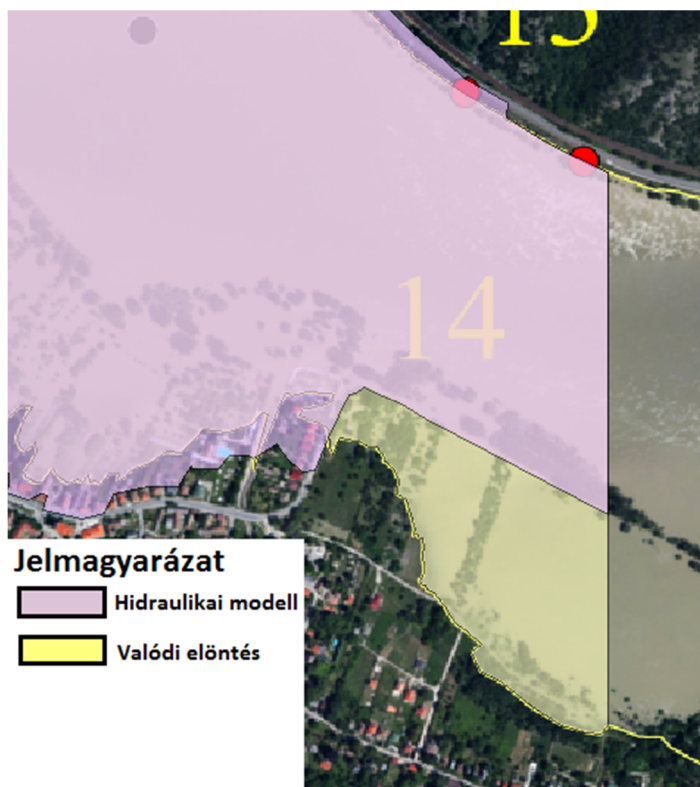
	Terület (ha)
Valós elöntés	158
Hidraulikai modell	209
SRTM 105 m	143

4.táblázat: A beépített területre jellemző fedvény: különbség a valódi és a modellezett elöntéshatárok között (A táblázatban egész számra kerekített értékek olvashatók)

5.7.3 Művelés alatt álló területek

Mivel a művelés alatt álló területeken - az elvetett gabonanövény jellegétől függetlenül - csak a domborzat befolyásolja a víz terjedésének útját, e fedvényen található a legpontosabb modell-előrejelzések.

A Duna bal partján, Zebegény déli részén, a Visegrádi-szorost megelőző szakaszon, egy merőleges egyenesen mérve a hidraulikai modell és a valós elöntéshatár között 0,5 m legkisebb és 79 m legnagyobb távolságot állapítottam meg. Az SRTM 105 m modell minimálisan 0,9 m-rel, maximálisan 55 m-rel tér el ezen a szakaszon. Ezek az eredmények annak a ténynek is betudhatók, hogy a Visegrádi-szorosnak e részén már nagy magasságkülönbségek jelentkeznek, ahova a tengerszint feletti magasság miatt a víz már nem jut fel, így az a Duna jobb oldalán található sík területekre koncentrálódik. Dömös település külterületén, a sík felszínen található szántóföldeken tehát már nagyobb elöntési területekkel találkozunk, a modellek közelítései ellenben a felszínborítottság miatt jónak mondhatók. A *Measure* eszköz által mért legkisebb különbség a hidraulikai modell és a valóság között 2,1 m, a legnagyobb 285 m volt, mely utóbbi a fedvény szélén található, a hidraulikai modell szerint nem, a valóságban azonban elöntött területnél jelentkezett. (49. ábra)



49. ábra: A művelési terület fedvényén található legnagyobb eltérés a Duna közvetlenül a Visegrádi-szorosba lépése előtti szakaszán észlelhető

Az SRTM 105 m modell és a valós elöntés között a Duna jobb partoldalán, egy egyenesen merőlegesen mért legkisebb távolság 2,4 m, legnagyobb távolság 181 m.

A minimális eltérések a területet tekintve is kimutathatók, melyeket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

	Terület (ha)
Valós elöntés	367
Hidraulikai modell	389
SRTM 105 m	361

5. táblázat: A művelés alatt álló területre jellemző fedvény: különbség a valódi és a modellezett elöntéshatárok között (A táblázatban egész számra kerekített értékek olvashatók) Látható, hogy mindkét modell itt közelíti meg leginkább a valóságot

Más szempontok alapján is vizsgálható lenne egy-egy terület, ilyenek például a domborzati tényezők, ám nem álltak rendelkezésemre olyan pontosságú terepmodell-adatok, melyekkel ezt egyértelműen bizonyítani lehetett volna. Folyókanyarok alapján történő elemzéssel feltehetően ugyanezen eredményekhez jutottam volna, mivel a kritikus elöntési területek mind a kanyarok térségében találhatóak.

6. Összefoglalás

6.1 Következtetések

A légifelvételzés árvíz idején történő alkalmazása egyedülálló téradat-gyűjtési forma, hiszen lehetővé teszi, hogy az elöntések következményében nem (vagy csak nehezen) megközelíthető területekről - adott időpontra számos - téradatot gyűjtsünk. A felbontás függvényében az elárasztott területek nagy pontossággal meghatározhatók, elkülöníthetők egymástól.

Dolgozatomban két elöntésmodell pontosságát tanulmányoztam a 2013 júniusában levonult árvíz idején készített ortofotó-térkép alapján: egy 2012-es LIDAR terepadatokra támaszkodó, több paramétert (érdesség, simaság stb.) is számításba vevő hidraulikai modellt, valamint az SRTM terepmodellre generált, Budapesten eddig mért legmagasabb vízszintre, 105 m tengerszint feletti magasságra készített elöntésmodellét.

Mintaterületül azért választottam a pilismaróti üdülőterületet, mert várakozásaim szerint a modellezett és a valóságban elöntött területek között e területen jelentkeztek a legszembetűnőbb különbségek: a folyó ezen a szakaszon kanyarodik, a partszakaszok domborzata, növényzete és beépítettsége változatos. A vizsgálatok során azt tapasztaltam, hogy a légi felméréssel rögzített, a terepi validálással 1 m-nél nagyobb pontosságú árvízi elöntésvédvényhez képest a globális SRTM terepmodellel generált vízszintmodell pontossága nagyobb volt a számos paramétert figyelembe vevő hidrodinamikai modellnél, melyet fedvényenként vizsgálva több területnél is külön vizsgáltam. Az eltérést nem a raszterelemek, hanem a vízmélységek okozzák, melynek oka a hidrodinamikai modell terepadataiban keresendő. A terep- és medermodell hibák oka, hogy a meder az árvíz lefolyása alatt változott, s nem ismerjük, hogy e módosulások hol, hogyan és milyen mértékben következtek be, továbbá az áramlási mezőt sem lehet megállapítani, csak - a sebességet és vízszintet együttesen figyelembe véve - a vízszint határozható meg egyértelműen.

Elmondható, hogy bár az SRTM terepmodellnek kisebb a terepi felbontása, mint a 2012-es LIDAR felmérésből kapott terepmodellnek, mégis a 2013. júniusi maximális vízállásra levezetett modell illeszkedik pontosabban a valós elöntéshez.

6.2 Javaslatok

Érdemes volna egy finomabb, részletesebb, frissebb terepmodell felhasználásával létrehozni a hidrodinamikai modellt, mely akár lehet egy az ortofotó előállításánál kapott,

0,5 m részletességű felületmodell is, légifelméréssel ugyanis akár 10 cm részletességű felületmodell is készíthető, ami nagyban javítaná az eljárás pontosságát. Hasonlóan eredményes megoldás lehetne az ortofotóból terepi mérésekkel elvégzett, szűréssel levezetett domborzatmodell alkalmazása is.

7. Irodalomjegyzék

7.1 Felhasznált irodalom

Bakó Gábor (2011) - Digitális evolúció - A digitális képérzékelők fejlődése az elmúlt évtizedben, Fotómozaik, 24-27 p.

Balázsik Valéria (2006) - Fotogrammetria I., Elektronikus oktatási segédlet, Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár

Baranya Sándor Józsa János, Krámer Tamás, Szilágyi József (2013), előadás - Korszerű módszerek az árvizek részletgazdag helyszíni mérésében és numerikus modellezésében júniusi tapasztalatok, eredmények és a továbblépés irányai, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest

Paul D. Bates, David M. Cobby, Matthew S. Horritt, David C. Mason (2003) - Floodplain friction parameterization in two-dimensional river flood models using vegetation heights derived from airborne scanning laser altimetry

Bodolainé Jakus Emma (1983) - Árhullámok szinoptikai feltételei a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén, OMSZ Hivatalos Kiadványai, LVI. Kötet

Erdas Field Guide

7.2 Felhasznált internetes források

ARGOS - <http://hu.wikipedia.org/wiki/ARGOS> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Bakó Gábor (2010) - Multispektrális felvételek alapján készülő tematikus térképek minősége, a terepi felbontás és a képminőség függvényében, Tájökológiai Lapok

<http://www.interspect.hu/Tajoko.pdf> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Bakó Gábor (2011) - Távérzékelési, fotogrammetriai és térinformatikai fogalomtár, RS&GIS Távérzékelési, fotogrammetriai és térinformatikai szakfolyóirat I. évfolyam / 1.

http://epa.oszk.hu/02100/02154/00001/pdf/EPA_2154_RSGIS_2011_01_092-116.pdf

(utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Bakó Gábor, Molnár Zsolt (2012) - Új magyar fejlesztésű szenzorok a légi földmegfigyelés szolgálatában - Egy légi tesztsorozat fázisai - AERO XIV., 20-21 p.

<http://www.interspect.hu/AERO.pdf> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Balázsik Valéria (2010) - Fotogrammetria, Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár

http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027_FOT9/0027_FOT9.pdf (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Baranya Sándor, Józsa János, Krámer Tamás, Torma Péter (2001) – Modellezés, kalibráció: Vízrajz és hidrinformatika, előadás, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest

http://vit.bme.hu/targyak/vizrajz_hidroinf/vedett/VRHI%20-%202001%20-%20Modellezes,%20kalibracio.pdf (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Csató Éva (2000) - Műholdadatok térképészeti alkalmazása, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

<http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/csato/csato.htm> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Duna - Földrajzi leírás:

<https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=10> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Duna - Árvízvédelem:

<https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=10&id=33&page=2> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Engler Péter (2011) - Fotogrammetria, Tértfotogrammetriai műszerek, Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár

http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOT11/index.html (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Homokiné Ujváry Katalin (2013) - Történelmi árvíz a Dunán, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest

http://met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=747&hir=Tortenelmi_arviz_a_Dunan_-_2013._junius (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Jancsó Tamás (2010) - Digitális fotogrammetria, Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár

http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOT12/index.html (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Kovács Ferenc, Mucsi László, Nagyvárad László, Szatmári József (2011) – Geoinformatika alapjai, Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged

<http://www.geo.u-szeged.hu/~laci/ab-Geoinfo-tananyag/ch10s04.html> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Krámer Tamás (2012) - Vízrendszerek modellezése, Elektronikus oktatási segédlet, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest

vit.bme.hu/targyak/vizrendmod/vizrendszerek_modellezese_2011.pdf (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Mélykúti Gábor (2007) - Fotogrammetria, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Budapest

<http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTAG12/ag12segedlet.pdf> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Molnár Gábor, Timár Gábor (2013) - Térképi vetületek és alapfelületek, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz és Földtudományi Intézet, Budapest

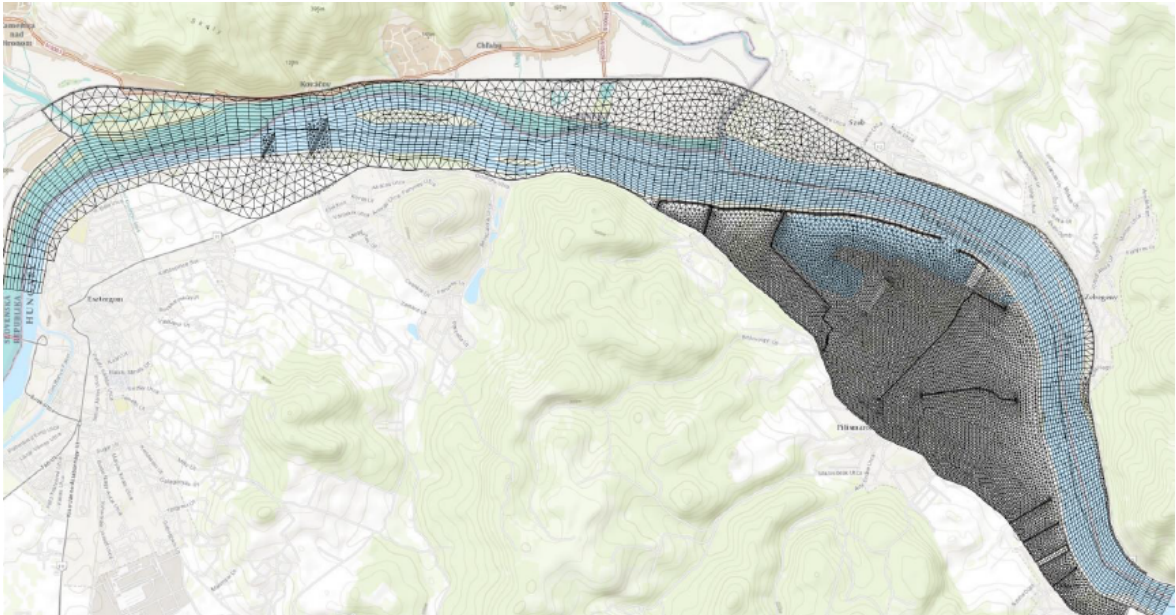
<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/terkepivetuletek/book.pdf> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

Tudnivalók a vízállás-előrejelzéssel kapcsolatban

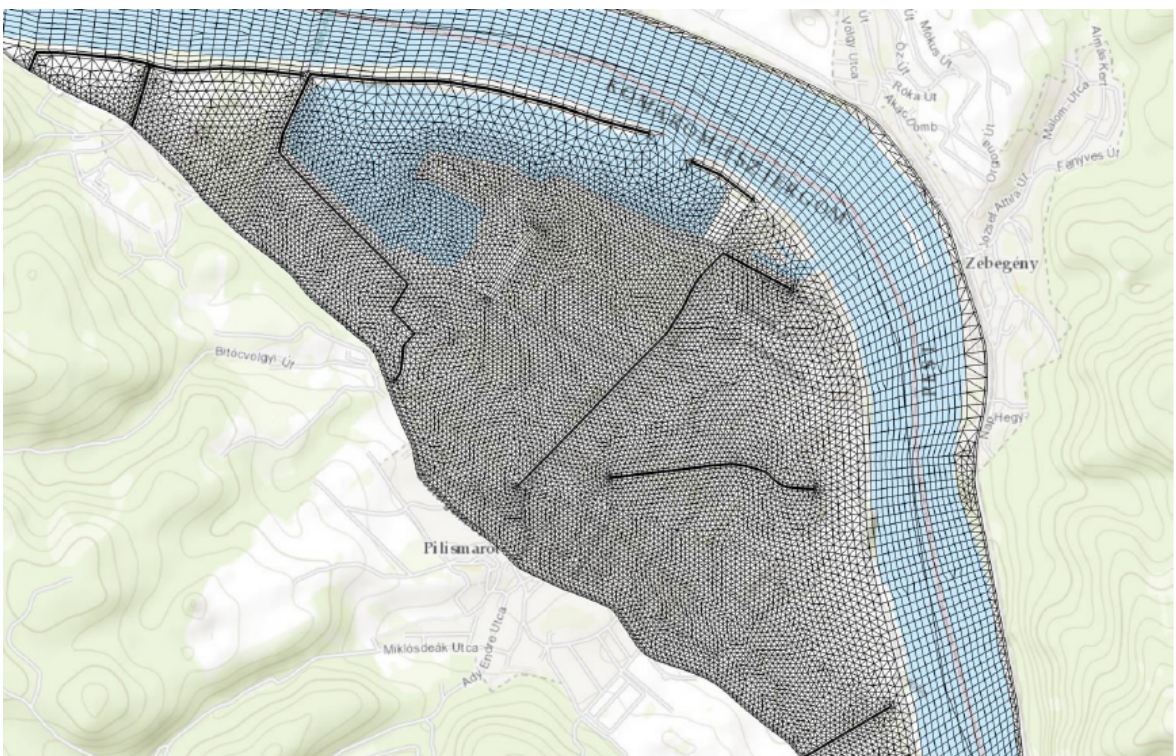
<http://www.hydroinfo.hu/hidelo.html> (utolsó megtekintés: 2014.06.05.)

8. Mellékletek

8.1 Ábrajegyzék



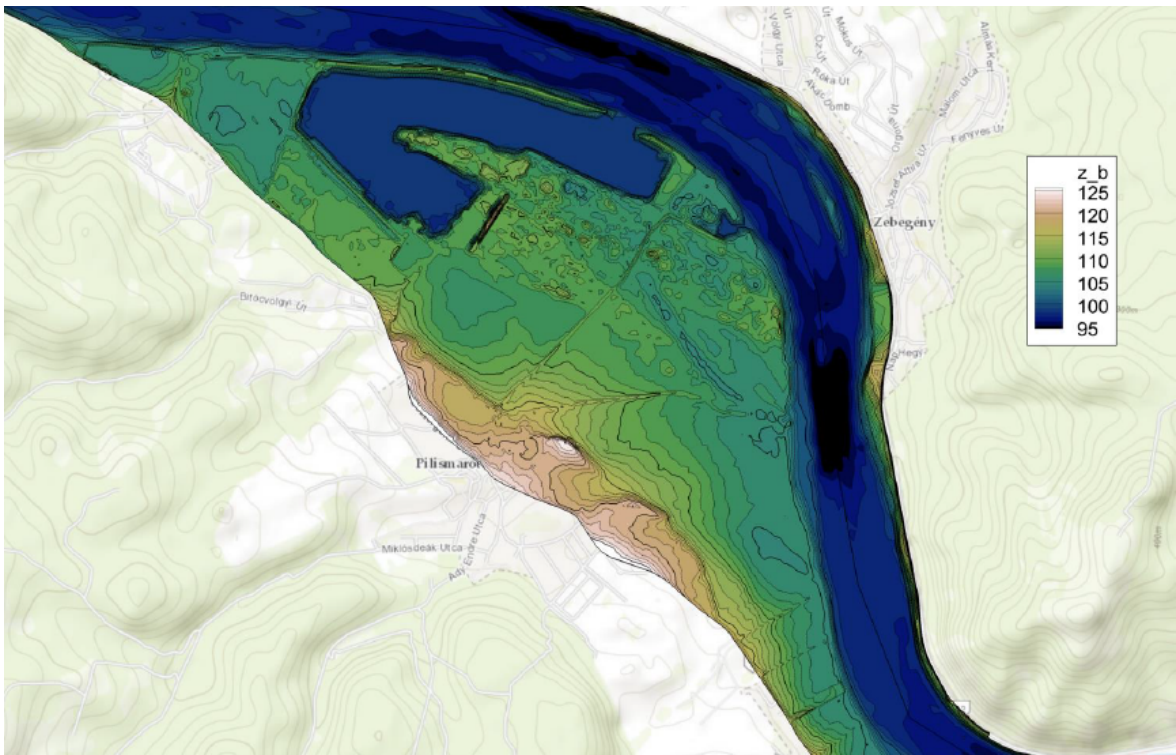
50. ábra: A számítási rácsháló teljes kiterjedésében. Látni, hogy csak Pilismarót környékén törekedtek nagy felbontásra



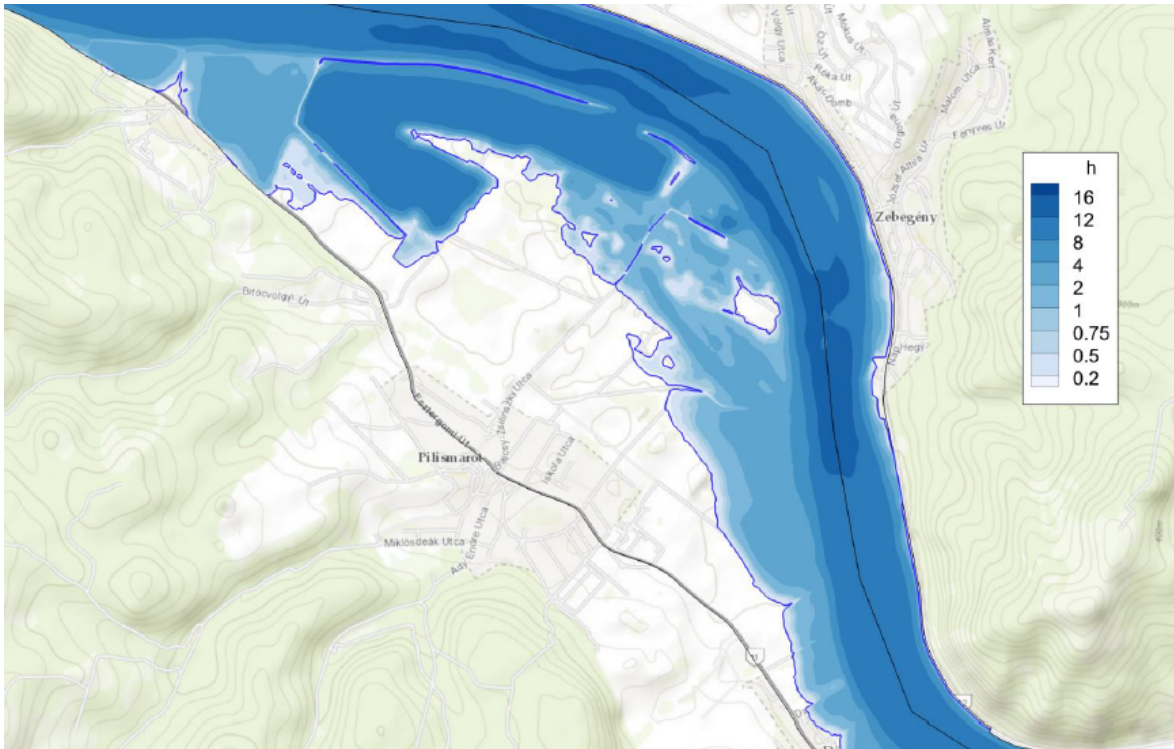
51. ábra: A pilismaróti hullámtér számítási rácshálója



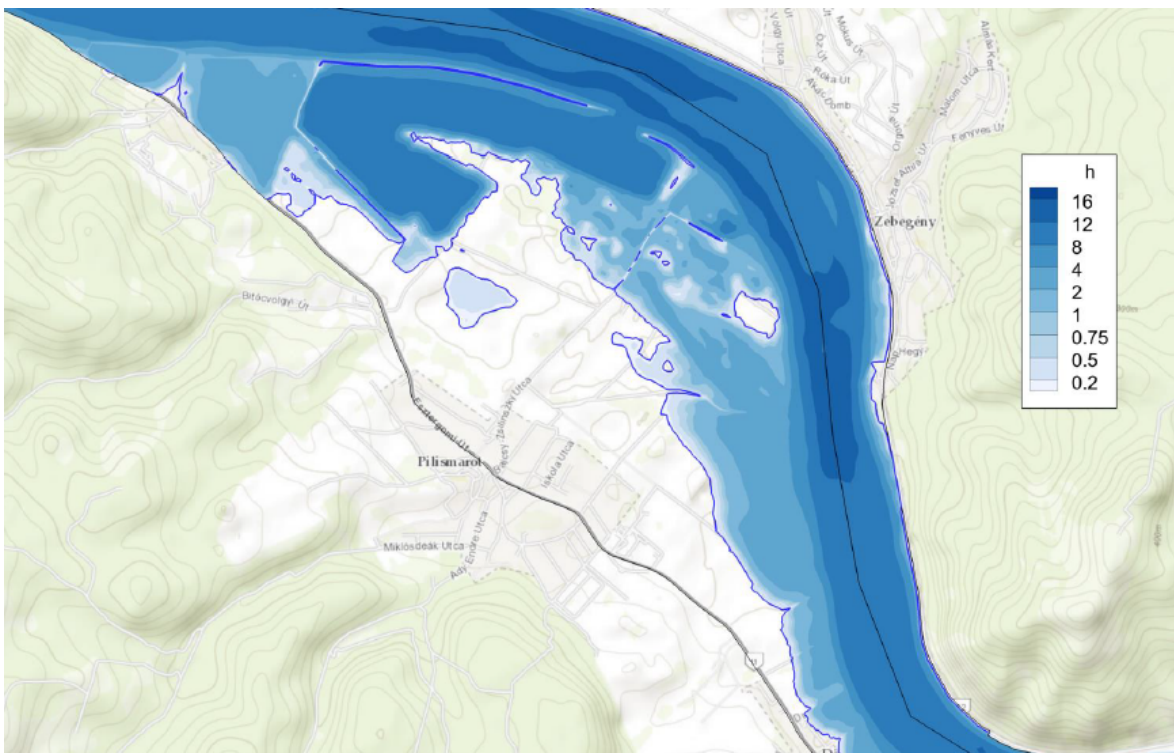
52. ábra: Számítási rácsháló részlete a pilismaróti belterületen, 30 m rácsebontással



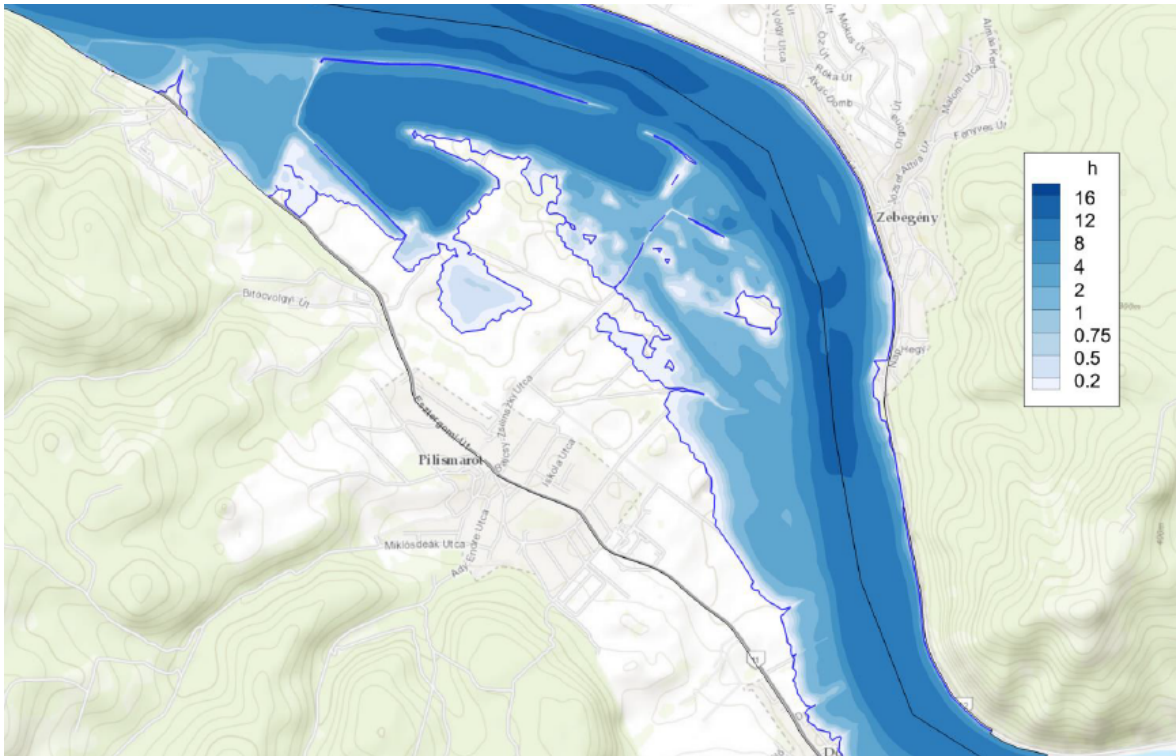
53. ábra: Domborzati modell a számítási rácsháló felbontásában



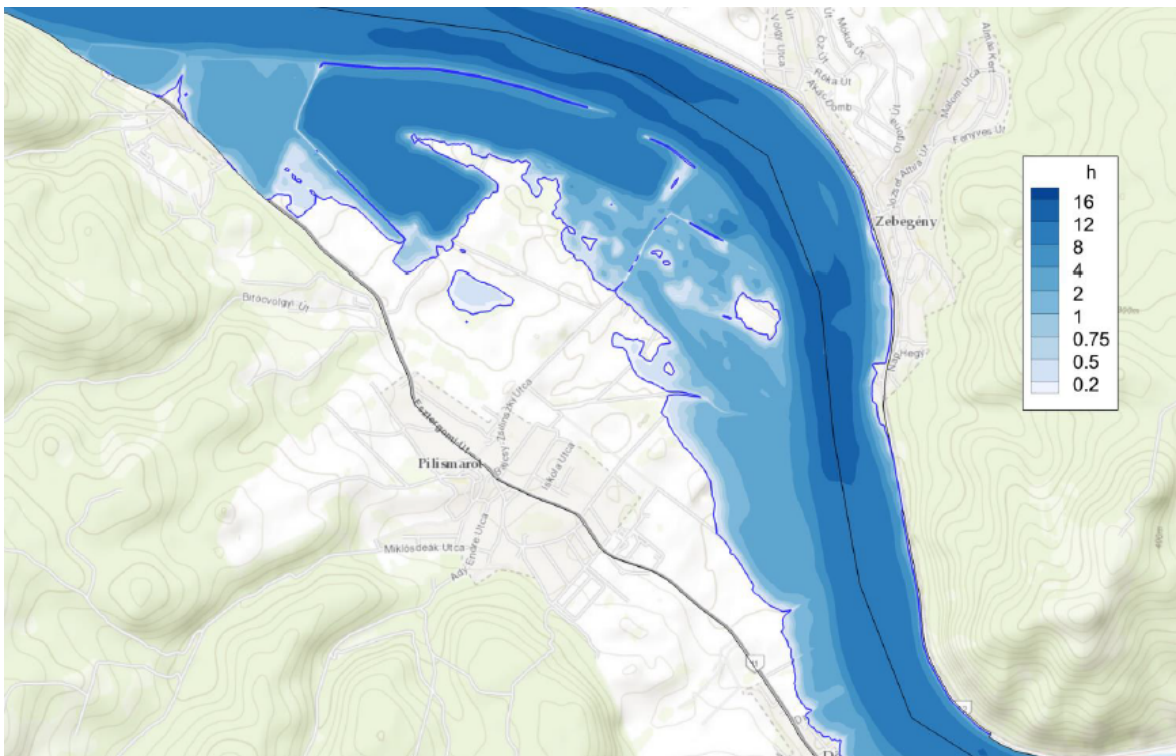
54. ábra: Modellezett elöntés, 2013. június. 8., 8 óra (levágás 10 cm vízmélységnél)



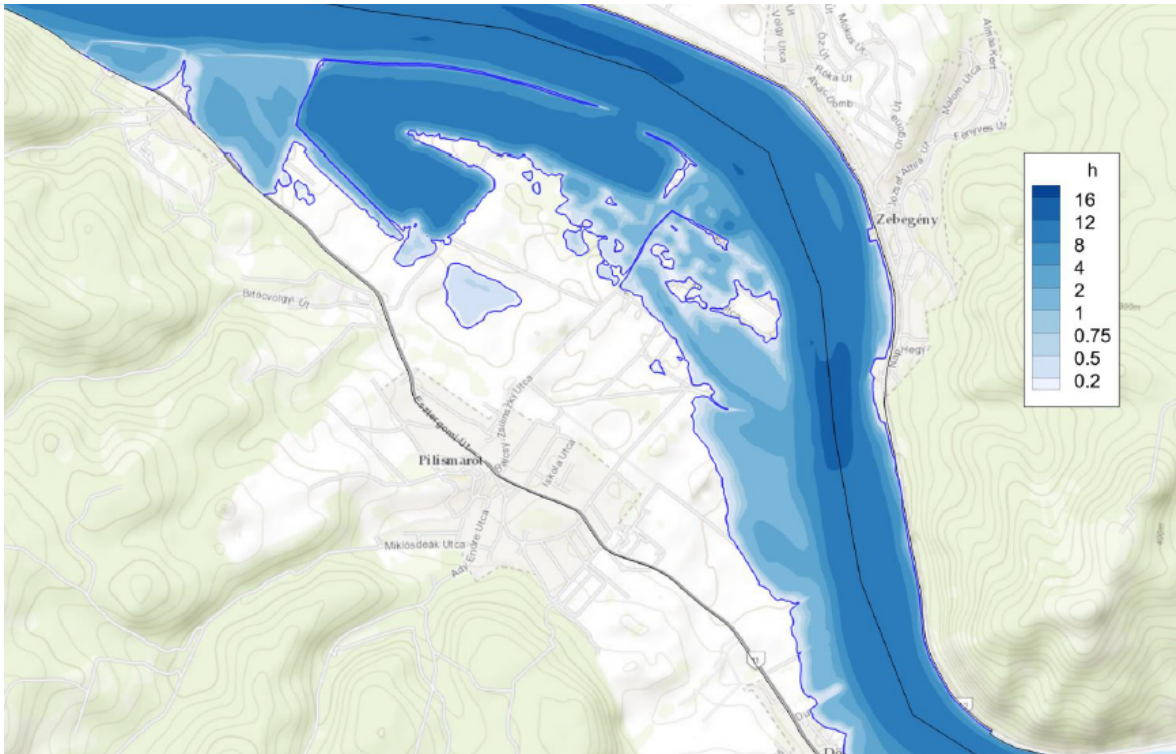
55. ábra: Modellezett elöntés, 2013. június 9., 8 óra (levágás 10 cm vízmélységnél)



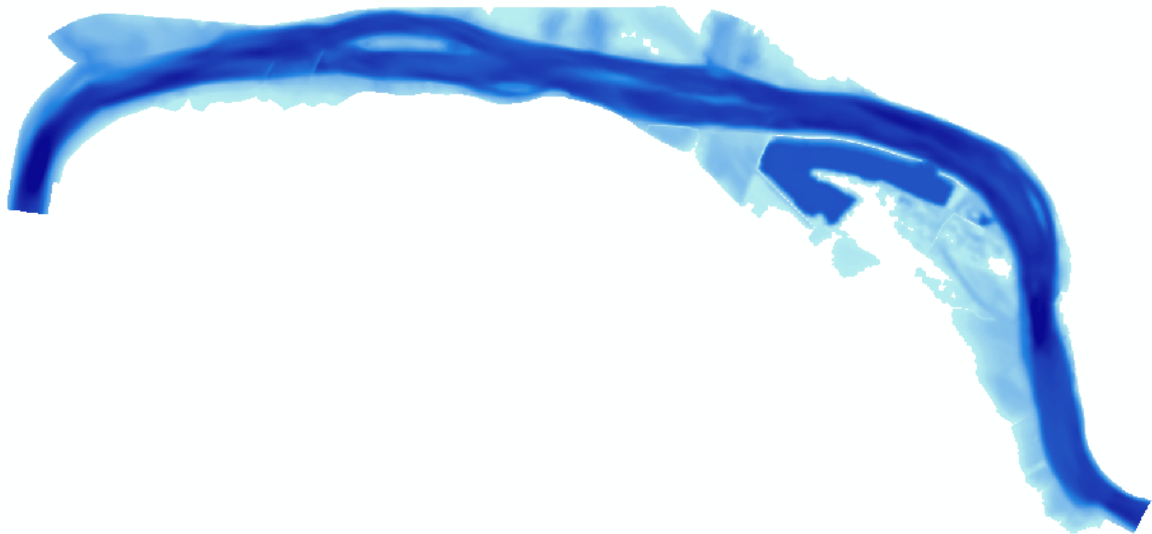
56. ábra: Modellezett elöntés, 2013. június 10., 8 óra (levágás 0 cm vízmélységnél)



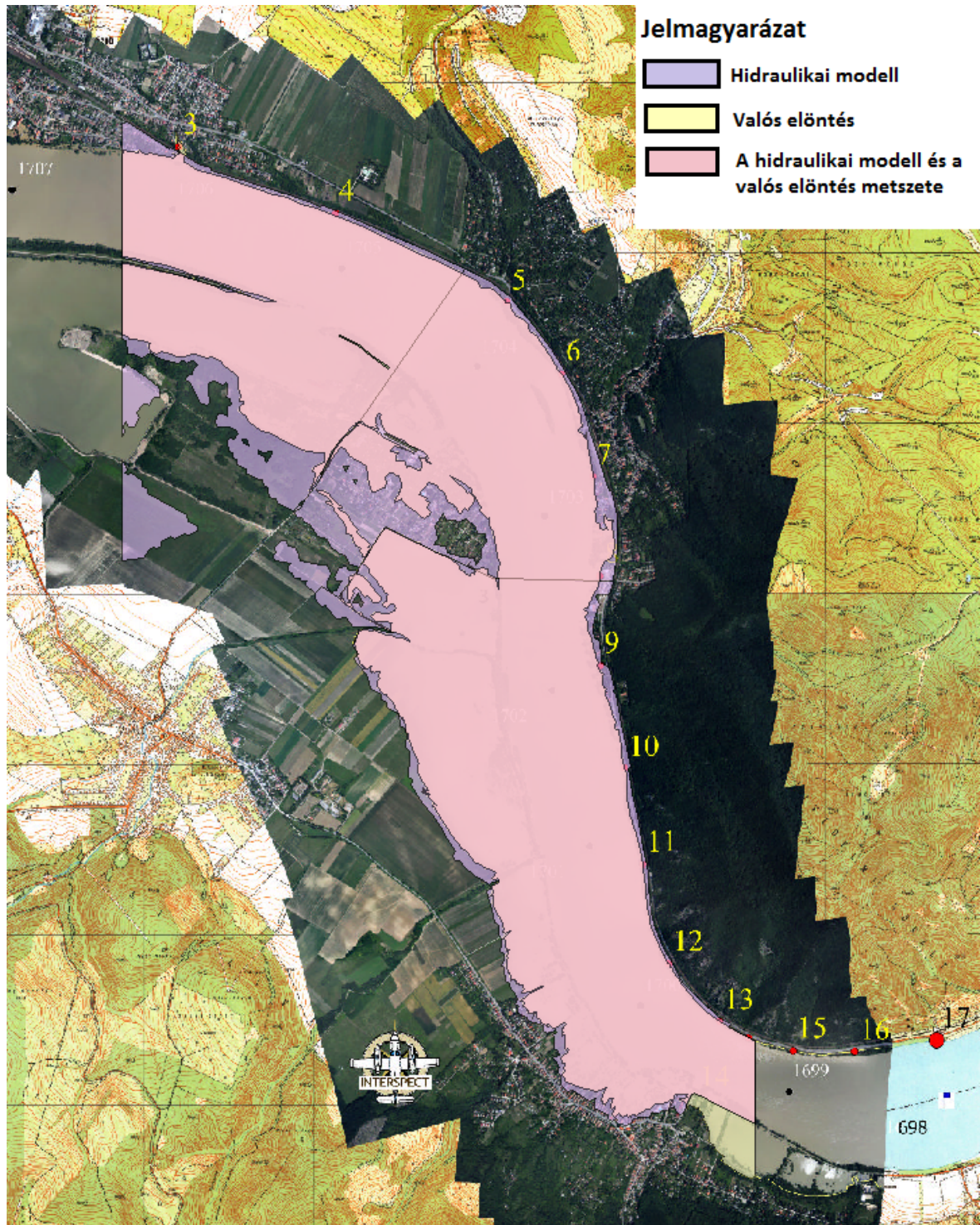
57. ábra: Modellezett elöntés, 2013. június 10., 8 óra (levágás 10 cm vízmélységnél)



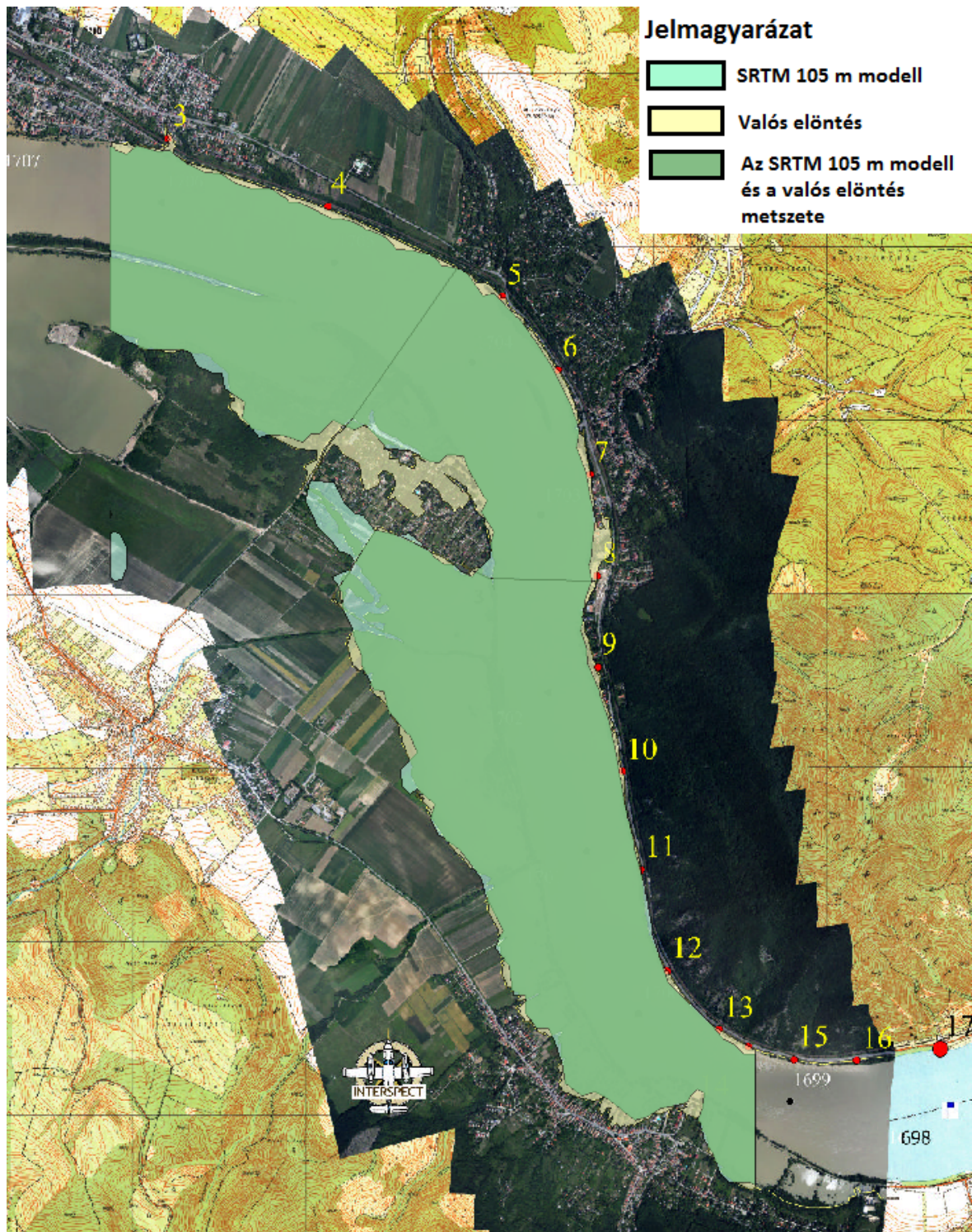
58. ábra: Modellezett elöntés, 2013. június. 11., 8 óra (levágás 10 cm vízmélységnél)



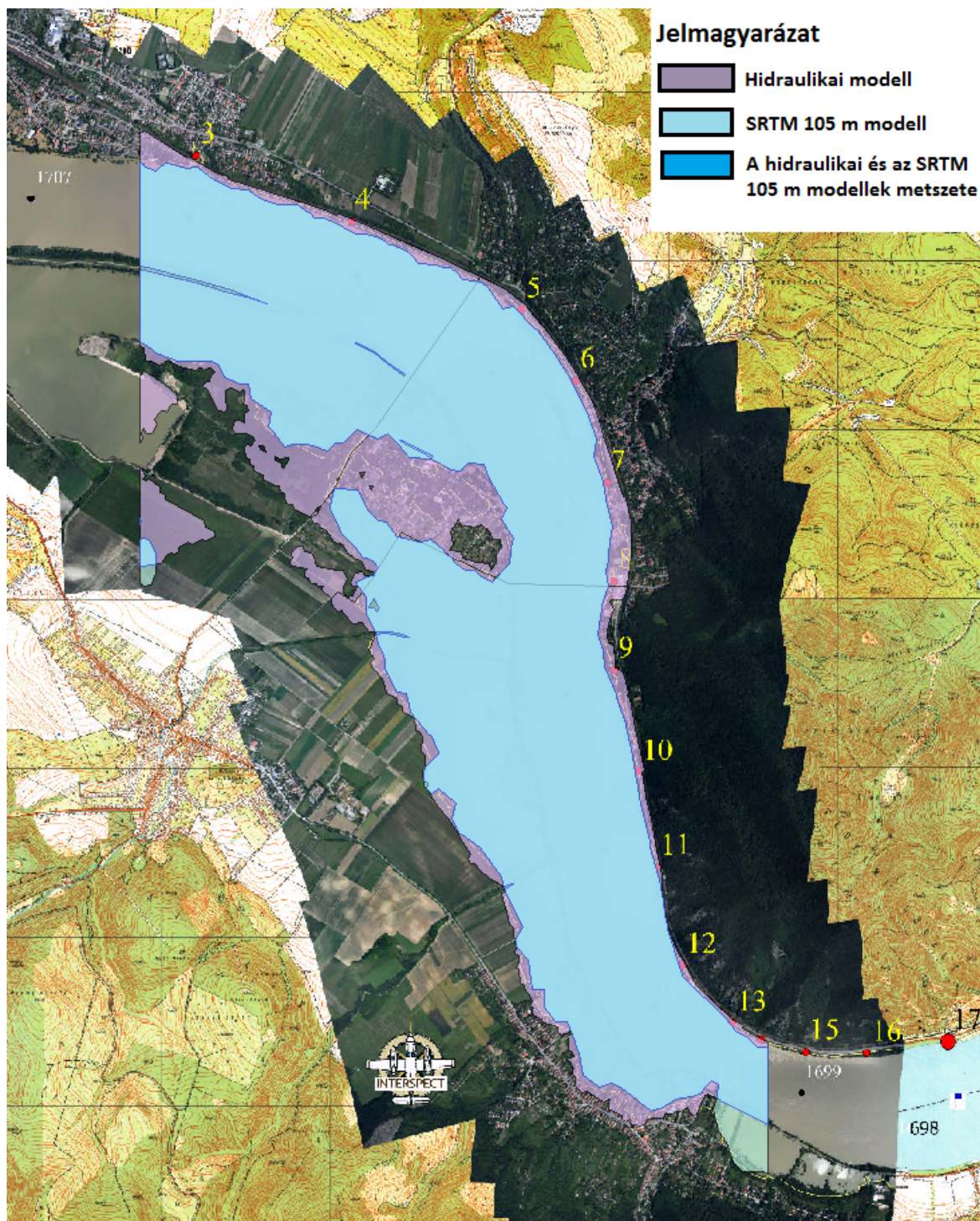
59. ábra: A hidraulikai modell ArcGIS szoftverkörnyezetben



60. ábra: A hidraulikailag modellezett és a valós elöntés metszete



61. ábra: Az SRTM 105 m modell és a valós elöntés metszete



62. ábra: A hidraulikai modell és az SRTM 105 m modell metszete



63. ábra: A terület EOTR szelvényei: 75-143 és 75-321

8.2 CD melléklet tartalma

A dolgozathoz melléklet CD az alábbi adatokat tartalmazza:

ArcGIS munkafájl:

ArcGIS munka/10_0/arviz.mxd

ArcGIS adatbázis:

ArcGIS munka/10_0/elontesek.db

ArcGIS shape fájlok:

ArcGIS munka/hidraulikailag_modellezett_fedveny.dbf

ArcGIS munka/hidraulikailag_modellezett_fedveny.prj

ArcGIS munka/hidraulikailag_modellezett_fedveny.sbn

ArcGIS munka/hidraulikailag_modellezett_fedveny.sbx

ArcGIS munka/hidraulikailag_modellezett_fedveny.shp

ArcGIS munka/hidraulikailag_modellezett_fedveny.shx

ArcGIS munka/szazot_m_fedveny.dbf

ArcGIS munka/szazot_m_fedveny.prj

ArcGIS munka/szazot_m_fedveny.sbn

ArcGIS munka/szazot_m_fedveny.sbx

ArcGIS munka/szazot_m_fedveny.shp

ArcGIS munka/szazot_m_fedveny.shx

ArcGIS munka/valos_fedveny.dbf

ArcGIS munka/valos_fedveny.prj

ArcGIS munka/valos_fedveny.sbn

ArcGIS munka/valos_fedveny.sbx

ArcGIS munka/valos_fedveny.shp

ArcGIS munka/valos_fedveny.shx

EOTR szelvények:

EOTR szelvények/eotr_mozaik_pilismarot_domos.prj

EOTR szelvények/eotr_mozaik_pilismarot_domos.tfw

EOTR szelvények/eotr_mozaik_pilismarot_domos.tif

EOTR szelvények/eotr_mozaik_pilismarot_domos.tif.ovr

EOTR szelvények/koordinatak.txt

A hidraulikai előntésmodell raszteres állománya:

hidraulikai előntésmodell/20130609/flow_dtm.asc

flow_dtm.asc.aux.xml

flow_h.asc

flow_h.asc.aux.xml

flow_h.asc.ovr

flow_z.asc

flow_z.asc.aux.xml

SRTM alapú, 105 m-es vízszintre generált modell:

srtm 105 m modell/105m.dbf

srtm 105 m modell/105m.prj

srtm 105 m modell/105m.sbn

srtm 105 m modell/105m.sbx

srtm 105 m modell/105m.shp

srtm 105 m modell/105m.shx

A valós elöntés poligonja:

valódi elöntés vektorizálva/Elontes hatarvektor.KMZ

A területről készített ortofotó-ábra:

ortofotó/ortofoto.jgwx

ortofoto.jpg

ortofoto.jpg.aux.xml

ortofoto.jpg.ovr

A modellezett elöntések területének különbségszámítási táblázata:

különbségszámítás.xlsx

A dolgozat:

dolgozat/Diplomamunka - Varga Csilla.pdf

NYILATKOZAT

Alulírott, Varga Csilla (NEPTUN kód: INJ60B) nyilatkozom, hogy jelen dolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A dolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

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

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2014. június 5.

.....

a hallgató aláírása