

KÜLÖNBÖZŐ MEDERFELMÉRÉSI MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA A KÉTDIMENZIÓS HIDRODINAMIKAI MODELLEZÉS SZEMPONTJÁBÓL

Göttlinger István¹ – Koch Daniel¹ – Majer Fruzsina¹ – Tamás Enikő Anna¹ – Varga György¹ – Kondor Gergely²

¹ Nemzeti Közsolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézet, Magyarország

² Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság, Magyarország

Levelező szerző: Göttlinger István, Nemzeti Közsolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézet, Baja, Magyarország, gottlinger.istvan@uni-nke.hu

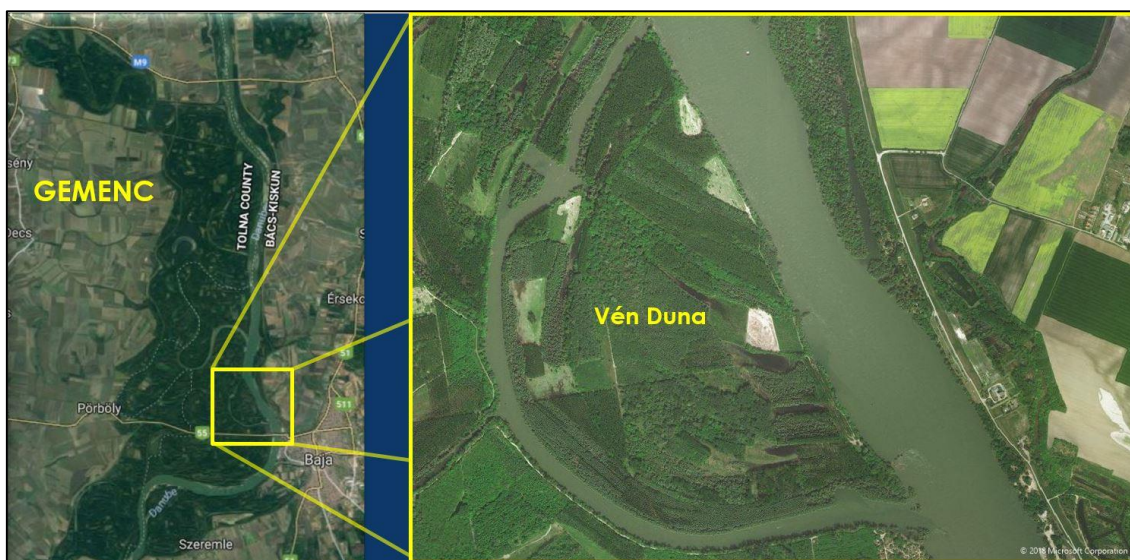
ABSZTRAKT

A kétdimenziós hidrodinamikai modellezés fontos eszközévé vált napjaink folyószabályozási munkáinak. A modellezés pontossága nagyban függ a modellezési kívánt terület felméréséhez alkalmazott módszer megválasztásától. Összehasonlító elemzést végeztünk annak érdekében, hogy megállapítsuk a különböző mederfelmérési módszerek, (Lead line és Multibeam), hogyan és milyen mértékben befolyásolják a modellezési eredményeket. Felmérésre került a Dunai 1481 fkm-nél található Vén-Duna mellékág és a köztes főmeder. A kutatásba bevont mederszakaszon GPS helyzetmeghatározással kiegészített ultrahangos mélységméréssel - szelvénykiosztással, és ezzel párhuzamosan és egy időben Multibeam technológiával is elvégeztük a mederfelmérést. Mederfelméréssel egyidőben vízhozam mérésre és a vízfelszín több ponton történő felvételére is sor került. A két mérési módszer által begyűjtött adatokból elkészült digitális terepmodelleket felhasználva valamint a vízfelszín és vízhozam adatok segítségével 2 dimenziós modellek megépítésére került sor. A modellek futtatása nem-permanens módban történt. Kalibrálás és validálást követően összehasonlításra kerültek a modelleredmények. A mérési módszerek pontosabb összehasonlítása érdekében megvizsgáltuk a méréshez szükséges munkaerő igényt, a feldolgozáshoz szükséges időt és mind ezek költségvonzatait.

Kulcsszavak: folyószabályozás, mederfelmérés, 2D modellezés, terepi mérés, Multibeam, Lead line, egysugaras mélységmérés, többsugaras mélységmérés.

1. BEVEZETÉS

A mai kor folyószabályozási munkálatainál tekintettel kell lenni a társadalmi és ökológiai igények optimális megvalósítására. Ennek elengedhetetlen része a vizsgálandó terület állapotának folyamatos figyelése. A szükséges beavatkozások hatásainak vizsgálatához optimális eszköz lehet a hidrodinamikai illetve transzport folyamatok modellezése. A valóságot jól közelítő modell előállításához megfelelő mennyiségű és minőségű adat szükséges, melyre a monitoring tevékenység folyamán figyelemmel kell lenni. (Tamás et al. 2014)



1. ábra: A Gemenc és a Vén-Duna – Duna szakasz: 1480-1484 [fkm]

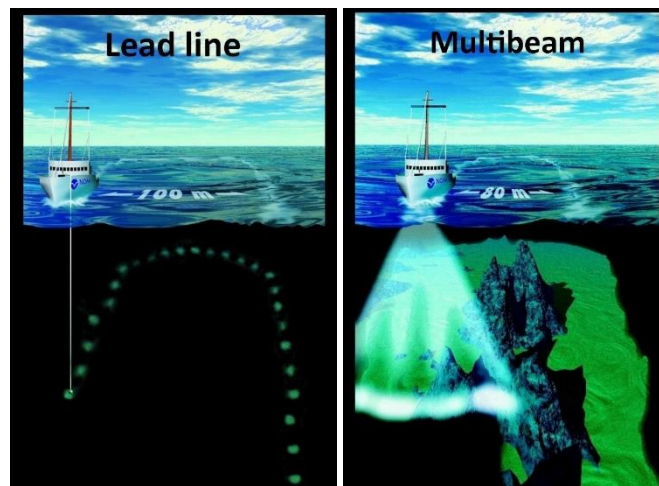
A Gemenci Tájegység a Duna-Dráva Nemzeti Park része, mely a maga 180 km²-es kiterjedésével Európa egyik legnagyobb összefüggő ártéri területe. A térség mellékági és holtágai közül meghatározó ökológiai és társadalmi jelentőséggel bír az 1. ábrán látható Vén-Duna mellékág, amely a bajai Türr István híd fölött a jobb parton található (1480,8 fkm-1483,5 fkm) és a Koppány-szigetet öleli körül. 1897-1898 között végrehajtott folyószabályozási munkálatok során a koppányi átmetszéssel alakult ki, az új meder fejlődése azonban nem volt kielégítő, ezért annak elősegítése érdekében a régi ágot egy keresztgáttal 1910-ben elzárták. Az elzárás hatására az új ág sikeresen átvette a főág szerepét. (Sziebert – Zellei 2003) Az ezt követő 80 év alatt a mellékág feltöltődése folyamatos volt. A folyószabályozás hatására a főmeder folyamatos süllyedésnek indult. A Gemenc területének vízellátottsága romlott, ami az 1980-as évek végére felhívta magára a területen dolgozó szakemberek figyelmét. (Kalocsa – Zsuffa 1997) Ennek következtében a Vén-Duna kőgátját 1998-ban megnyitották, a feliszapolódott medret megkötötték, ezzel javítva annak vízpótlását. Az így kialakított mederállapot fenntartásához folyamatos monitoring tevékenységen alapuló beavatkozások szükségesek. (Sziebert – Zellei 2003; Tamás et al. 2011)

Erre irányult a 2017. március 30-án a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kara Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézete és a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság által szervezett közös mérőgyakorlat. Ezen mérőgyakorlat során a két fajta mederfelmérési technológiát alkalmaztunk, az ebből származó digitális terepmodellből készítettünk 2D hidrodinamikai modellt. Az alábbi vizsgálatban arra a kérdésre kerestük

a választ, hogy az egysugaras technológiával való mederfelvétel, egy fejlettebb mederfelvételi technológiával szemben milyen különbséget ad.

2. MÉRÉSI MÓDSZEREK

Az összehasonlítás alapja a korrekt, pontos és megbízható terepi mérések végrehajtása és az adatok begyűjtése. A vizsgálat során kétféle mederfelmérési módszert választottunk. Az egysugarasra kiosztott szelvények mentén haladó, egysugaras mélységmérési módszert (Lead line), valamint a folyamatos hossz-szelvény mentén haladó többsugaras (Multibeam) technológiát.

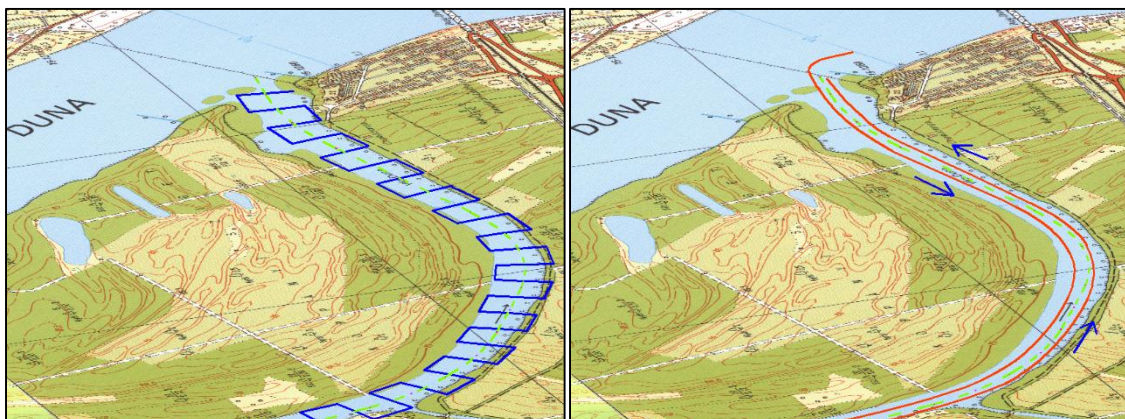


2. ábra: Lead line és Multibeam technológia – (Wet Maps 2018 - noaa.gov)

A medermérési módszereket szimultán-egyidejű méréssel kívántunk összehasonlítani.

2.1. MÉRÉSI ÚTVONAL MEGHATÁROZÁSA

Mindkettő mederfelmérési módszer esetében az első lépés a felmérési útvonal meghatározása. Itt a technológia adta lehetőségeket és korlátokat valamint a víztest/vízfolyás állapotát (szélesség, vízsebesség, vízmélység, kanyarulati viszonyok, beépített műtárgyak stb.) is figyelembe kel venni.



3. ábra: Egysugaras szelvénykiosztás és többsugaras-Multibeam mérési útvonal, Helyszínrajz, Vén-Duna

2.2. EGYSUGARAS MÉLYSÉGMÉRÉS – LEAD LINE

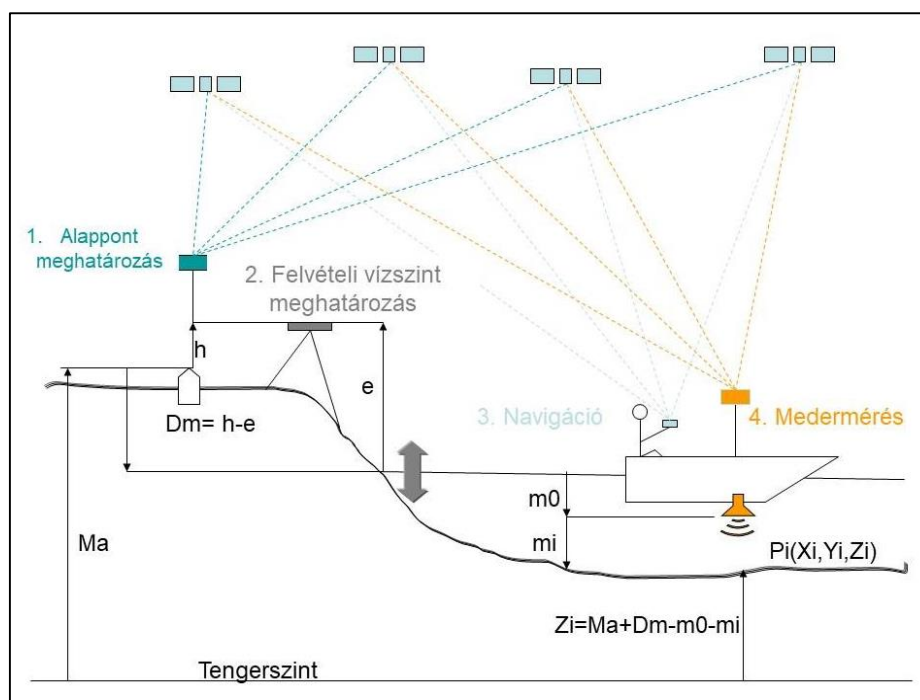
Egysugaras mérési módszer esetében egységtávolságra történő keresztaszvénny-kiosztást kell alkalmazni. A keresztaszvénnyek a vízfolyás teljes szélességében a középvonatra merőlegesek. Ezekon végig haladva parttól partig lehetséges a mederfelmérés. Külföldi szakirodalom ezt “Lead line” – “vezető-vonal” technológiának nevezi.

Évszázadokon át a mélységmérés vezető-vonal mentén kötéllel történt. A módszer szerint egy kötélre vagy huzalra 10 font tömegű súlyt kötöttek és leengedték a meder aljára. Amint a súly a mederfenékre ért a kötél hossza jelentette az adott pont béli vízmélységet. (NOAA – Wet Maps, 2018)

A módszerekből kétféleképp származtathatjuk a “vezető-vonal” fordítást: egyrészt a mélységmérést kötél és súly segítségével végzett mérést felváltó szonár technológia nyújtotta gyors mélységmérésből, valamint a szelvényezés szerinti mederfelmérés vonalvezetéséből.

A szelvénykiosztás távolsága függ a felméréendő vízfolyás szélességétől, vízhozamától, a megkívánt részletességtől, a mérésre szánt idő és költségfordítástól valamint a mérési technológiától. Ezek alapján a Vén-Dunán 100 méterenként történt a mederfelvételezés. A mérés során akadályozó tényező lehet a partmenti és mederközi alacsony vízmélységek, a vízben található növényzet sűrűsége, egyes részek nehezebb megközelíthetősége – erős áramlatok, nagyobb uszadékok valamint a meder állapota – növényborítottsága.

A mérési módszer a szonár- technológiákon alapszik. A szonár kis- és nagyfrekvenciás impulzusokat bocsát ki (50 - 800 kHz között), melyek hullámmozgással terjednek a vízben, amikor a jelek a mederhez érnek, illetve bármilyen tárgyhoz, egy részük visszaverődik a műszerhez. (Právetz 2018)



4. ábra: Mederfelvétel GNSS támogatással (Varga, 2013)

A mérés során a mélységmérőhöz csatlakoztatott GPS készülék rögzíti az X, Y, koordinátákat EOVS vetületi rendszerben, amelyhez társítja a mérés pillanatában felvett vízmélységet. Ezt a vízszintes és függőleges koordinátához kapcsolt vízmélységet – amely jelenleg még relatív mélységet jelöl, korrigálni kell a GPS vevő antenna és a mélységmérő távolságával, a mélységmérő merülési mélységével és a méréssel egyidejűleg végzett vízfelszínrögzítés magassági adataival. Vízfelszínrögzítés során legalább minden folyamkilóméterben egy mérési alapponttól szinthezéssel meghatározzuk a vízfelszín Balti alapszint feletti magasságát. Erre két dolog miatt van szükség: egyrészt a GPS vevő magassági pontatlansága miatt a mért műszermagasság "Z" koordinátáját el kell dobjunk, másrészt a hidrodinamikai modellezéskor a kalibráció egyik eszköze a mérés ideje alatt rögzített vízfelszín görbe. Mivel a "Lead line" és a többsugaras, "Multibeam" mérés egyszerre lett elvégezve, ezért a vízfelszínrögzítés mindkét módszer vizsgálatánál felhasználásra került.

2.3. TÖBBSUGARAS MÉLYSÉGMÉRŐ - MULTIBEAM

Többsugaras mélységmérési medertérképezés során a mederről egységnyi szélességben kapunk mélységadatot nagy pontsűrűséggel.

A változó közeghatárról visszaverődő jel rajzolja ki az egyes formákat. Nagy előnye, hogy megfelelő látószögű (vízmélység befolyásolja) műszer esetén egy folyóközépi hosszanti mérés segítségével felmérhető a teljes meder, amennyiben megfelelő mélységű a víz. Kiseb látószögű műszerek esetén vagy alacsonyabb vízállásnál több szelvény felvételére is szükség lehet. (Sziebert 2010)

A mérőrendszer a VITUKI által 2006-ban épített Dr. Csoma János mérőhajón üzemel, mely jelenleg a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság – Vízirajzi és Adattári Osztálya alá tartozik. A hajó EM 3002 D műszerrel van felszerelve, amely egy fejlett, többsugaras visszhangjelző, rendkívül nagy felbontással és dinamikus fókuszált sugarakkal. Alkalmos a mederfenék részletes feltérképezésére és ellenőrzésére, kevesebb, mint 1 méter vízmélységtől. A maximális mélység határ erősen függ a vízhőmérséklettől és a sótartalomtól - kedvező feltételek mellett akár 300 m-es mélységig is lehetséges méréseket végezni. Az elektronikus hangmagasság-kompenzáló rendszer és a lengés stabilizált sugarak miatt a rendszer teljesítménye rossz időjárási körülmények között is megbízható. (Kongsberg Maritime AS, 2006)



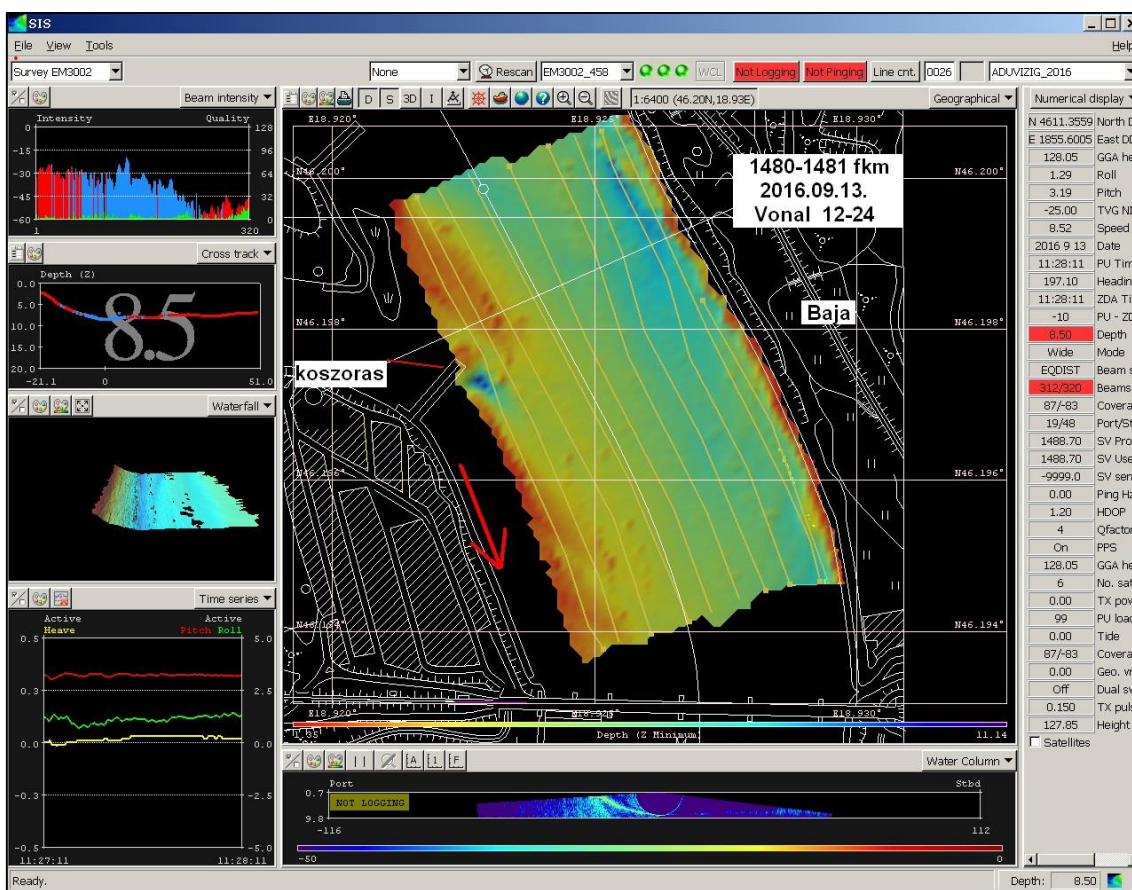
5. ábra: Dr. Csoma János mérőhajó a Vén-Dunán – KDVVIZIG, (Szilágyi 2017)

Rendszer működési elve

A mérőfejek kibocsájtják és fogadják az ultrahangjeleket (320 db a két mérőfejből összesen), melyből az adott víz ultrahang terjedési sebességének ismeretében megkapjuk a mérőfej és mederfenék közötti távolságot. Ezt hozzákapcsolva a jelkibocsájtás időpillanatában rögzített pozícióhoz, megkapjuk a mederfenéken mért pontok koordinátáit. Ezeket még meg kell javítani a mozgásérzékelő által mért kilengésekkel (roll, pitch, yaw), és így áll elő a nyers mérési adat.

Mérés menete

A mederfelmérés a mérési helyszín megközelítése után az ultrahang terjedési sebességének érzékelésével kezdődik, mely kalibrációs paraméter a mérőrendszernek. Ezt beadva a mérést vezérlő programnak, megkezdődhet a mérés. A mérendő területen folyásiránnyal párhuzamosan halad a hajó. A program valós időben mutatja az éppen mért sáv nagyságát. Ehhez igazodva kell haladni a következő sávra, valamennyi átfedést hagyva az előzővel. Az adatrögzítés bármikor megszakítható és újra indítható, a megszakítás nélkül mért terület egy fájlban kerül mentésre.



6. ábra: Dr. Csoma János mérőhajó – valós idejű mederkép - (fotó: Kondor Gergely – KDVVIZIG, 2017)

Mérés során folyamatos képet kapunk a mederviszonyokról és a hajótest alatti vízmélységről. Utóbbi azért is fontos mert a technológia egyik akadályozó tényezője lehet a hordozó jármű merülése és az ebből adódó legkisebb mérhető vízmélység.

3. ADATGYŰJTÉS – ADATFELDOLGOZÁS

A medermérés befejezésével a rögzített adatok feldolgozása töretink. A Multibeam technológától eltérően, ahol a mért adatok azonnal megjelennek a vezérlőegység képernyőjén, az egysugaras mérés során a mért adatok csak a műszerből való kinyerése és feldolgozása után válnak láthatóvá. Feldolgozáskor az első eltérés a mérés helyességének ellenőrzésében található. A domborzatmodell pontosságát nagyban befolyásolják a felmérés során keletkező hibák. A méréseket több hibaforrás is terhelheti. (Detrekői 1991) Véletlen, szabályos és durva hiba, melyek minden műszernél előfordulhatnak. (Sárközy 1991)

Egysugaras – Lead line jelfeldolgozás

Egysugaras – Lead line mérés során, amennyiben a felmérést nem lehet egy munkaegység alatt végrehajtani, a mért adatokat célszerű a mérési nap végén ellenőrizni. Erre azért van nagy szükség, mert amennyiben a mérés során a GPS vevőegységénél jelvesztés állt fent, úgy egyes mérési szelvények rögzítése kimaradhat. Ekkor a következő mérési nap vagy munka-egység alkalmával számításba kell venni a hiányzó adatok pótlásának idő és munkaigényét. A többsugaras mérési módszerhez hasonlóan itt is elengedhetetlen az adatok szűrése, mivel az egy keresztzelvényhez tartozó mért mederpontok száma nagyobb, mint a szükséges. A műszer mérési sebessége 2 pont / sec. Ebből adódik, hogy 2 pont magasságkülönbsége és távolsága kicsi. Ez a digitális terepmodell építésénél zavaró tényező, ezért ritkítást kell végezni. A ritkítás egyszerű szűrést jelent, amely esetén a legnagyobb és legkisebb megengedhető vízszintes és függőleges távolság alapján a feltételrendszernek megfelelő pontok tarolódnak, a többi törlésre kerül.

Többsugaras – Multibeam jelfeldolgozás

Az adatfeldolgozás, mely fő lépései az útvonal ellenőrzése, javítása, majd a nyers mérési pontfelhő szűrése. Ez zajszűrésből, fals jelek szűréséből és szükségtelen objektumokról (halak, uszadék) visszaverődött jelek szűréséből áll. Utolsó lépésben a feldolgozott adatok mentése, igény szerinti koordinátarendszerbe átszámítása, pontfelhő adott méretű gridre ritkítása történik. A kapott adathalmaz megnevezése pontfelhő. Sűrűségét leggyakrabban 1 m²-re adott pontok számával fejezzük ki. Multibeam technológia adottsága, hogy a pontfelhő sűrűsége is megválasztható. Szintén függ a mérési körülményektől is.

4. MEDERGEOMETRIA ÉPÍTÉSE – DIGITÁLIS TEREPMODELL

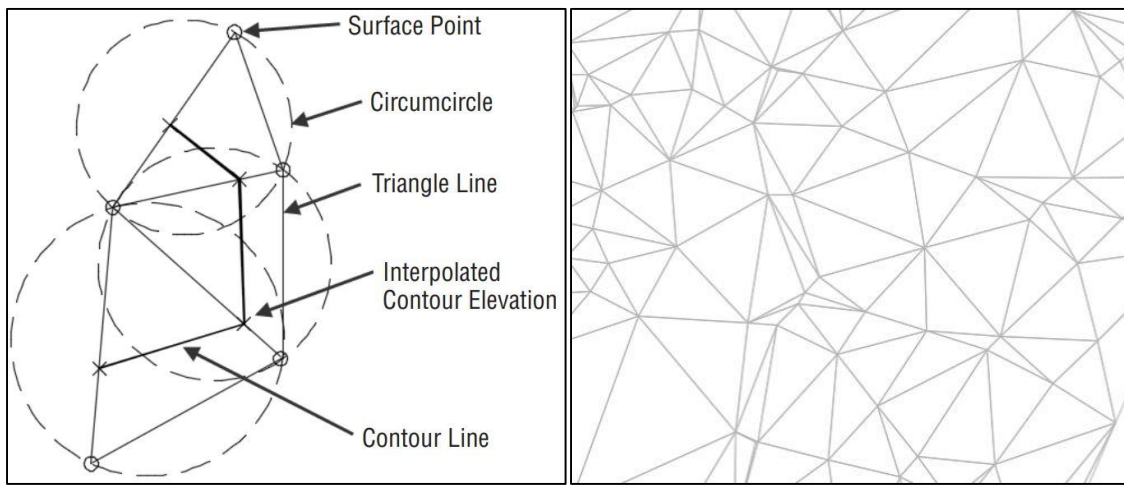
Jelfeldolgozás-szűrés után a digitális terepmodellek megalkotása a feladat. A Multibeam pontfelhőből és a keresztzelvényenként mért Lead line adatokból egységes módon kell felületmodellt alkotni. Erre azért van szükség, hogy a hidrodinamikai modellezés eltéréseit egységes módon kezelt terepmodellel futtathassuk le. A terepmodell megalkotásához először a mért pontok közötti ismeretlen térrész – mederrész tartományaira kell interpolációval adatot képezni.

A be nem mért térrészek becslésére pontszerű mérési eredményekből számítógéppel készítendő térképeknél 2D interpolációt alkalmazhatunk. Erre többféle módszer is ismert, melyeknek 2 főbb csoportja létezik: az úgy nevezett egzakt és a simító interpolátorok. Az egzakt interpolátorok a mérésből ismert pontokat (tartópontok) elvileg változatlanul hagyják, és a köztes térrészekre pedig becsülik az értékeket. A simító jellegű

interpolátorok azonban a mért pontokat is torzítják, hogy az általuk számolt felülethez minél jobban illeszkedjenek. (Herczeg 2010)

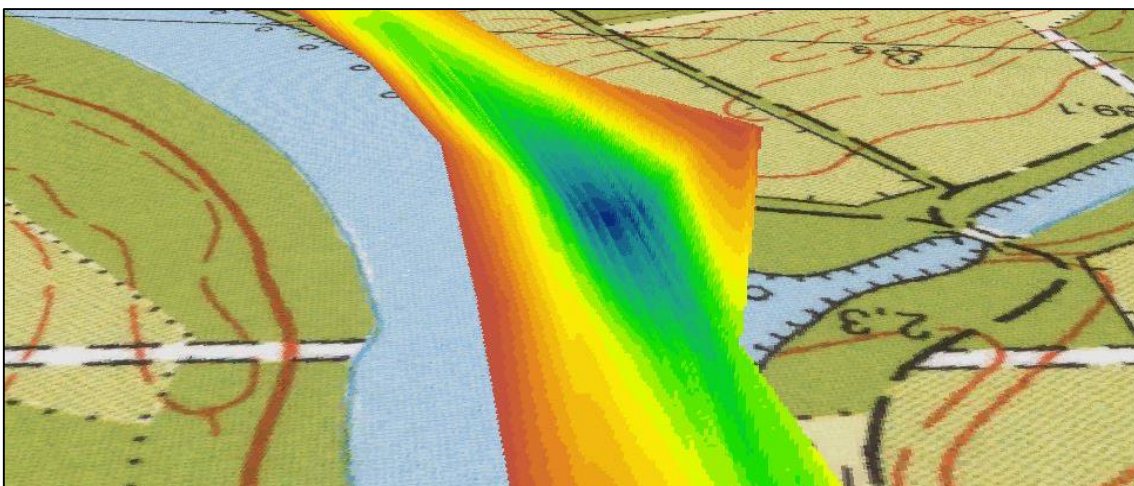
A mederadat feldolgozáshoz használt szoftver az Autodesk Civil 3D programja. A program felületkészítéshez használt metódusa a TIN – Triangulated irregular network.

Ez a módszer a Delaunay háromszögelés, melynek során a mért pontok vonalakkal csatlakoznak és háromszöget alkotnak. Minden háromszög esetében a felület egy lapként jelenik meg. Háromszögeket használva biztosított, hogy minden egyes mozaikdarab illeszkedni fog a szomszédos darabokkal. Ezen felül a felület folyamatos, ahogy minden egyes háromszög csúcsát egy-egy mérési pont definiálja. ... Ez a metódus egy egzakt interpolátor. (El-Sheimy et al., 2005)



7. ábra: Delaunay háromszögelés – TIN felület, Civil3D – (Davenport et al., 2015)

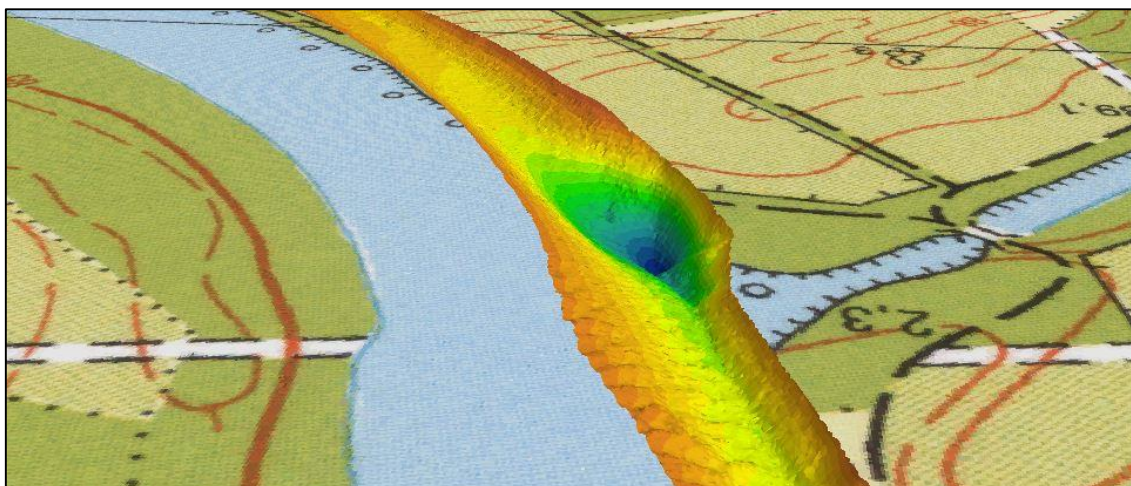
A Delaunay háromszögelés során a program vesz egy ponthalmazt, meghatároz 3 pontot egymáshoz lehető legközelebb, majd rájuk illeszt egy kört amely mindhárom pontra érintőlegesen helyezkedik el, ezzel megalkotva egy háromszöget. Az algoritmus folytatódik a fennálló összes pontig... (Davenport et al., 2015)



8. ábra: Mélypont egysugaras mederfelméréssel – TIN felület, Civil3D

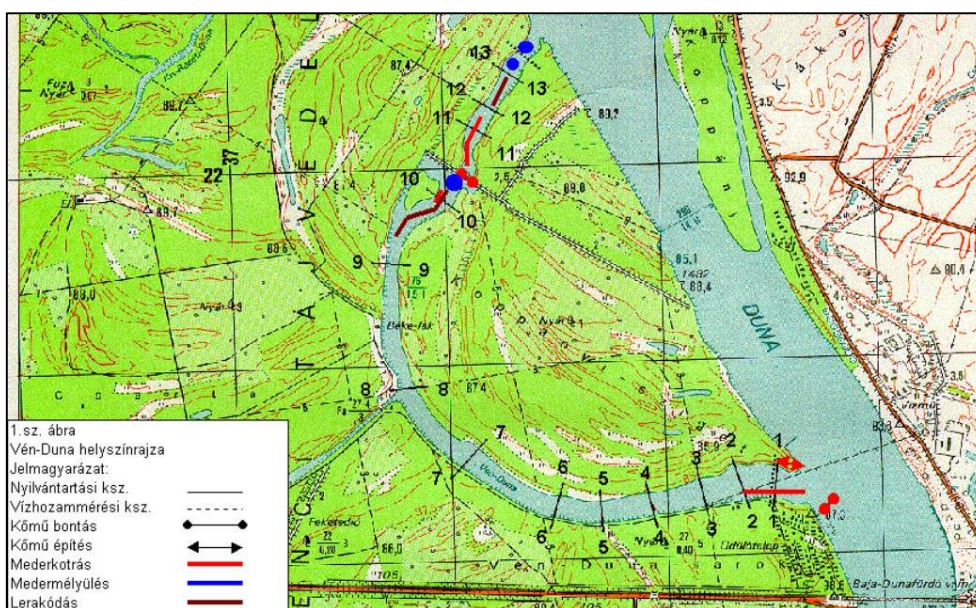
A vizsgált Vén-Duna szakasról készített digitális terepmodellt összehasonlítva két alapvető megállapítást tehetünk. A fentebb említett TIN-felület készítés módja alapján a

pontfelhő sokkal részletesebb medertérképezést tesz lehetővé, mint az egysugaras Lead line technológia. Egysugaras méréskor a szelvénykiosztást úgy kell meghatározni, hogy a szelvények közötti interpolált 25, 50, 100 vagy több méter hosszú szakaszon a lehető legjobb interpolációt adja a felmérendő mederszakaszra. Amennyiben egy kimélyült szakasz mérése zajlik, úgy célszerű a legmélyebb ponton áthaladó keresztshelvényen végezni a felmérést, ezen felül a lényegesebb mederváltozások helyén sűríteni a keresztshelvényezést. Természetesen ez az előre tervezéskor ismeretlen víztesten, valamint annak fényében, hogy a víztest legtöbbször átlátszatlan, ez szinte lehetetlen.



9. ábra: Mélypont Multibeam mederfelméréssel – TIN felület, Civil3D

Lead line és Multibeam mederfelmérésből készült digitális terepmodellen látható ugyanazon Vén-Duna szakasz. Jól megfigyelhető, hogy a kimélyülés és környezete sokkal részletesebben rajzolódik ki a pontfelhő adatokból felépülő Multibeam mérésnél. Amennyiben a Lead line mérés keresztshelvényei a kimélyült mederszakasz előtt és után készülnek, úgy az interpolálás miatt ez a szakasz nem vagy csak alig felismerhető lenne.



10. ábra: Nyilvántartási keresztshelvények – Vén-Duna mellékág, (Tamás et al. 2014)

Ezen hibák elkerülése végett minden Vén-Duna mérés-sorozat során a már elődeink által meghatározott 13 nyilvántartási szelvényen is végzünk méréseket az előre meghatározott szelvénykiosztáson kívül is. (ld; 8. oldal, 10. ára)

5. KÉTDIMENZIÓS MODELL ÉPÍTÉSE – INPUT ADATOK

A felmérési adatok együttes felhasználásával elkészült, egy a vizsgálati területet lefedő modell, ami az 1479+000 - 1484+280 fkm - ig tartó Duna-szakaszt és a Vén-Dunát foglalja magába.

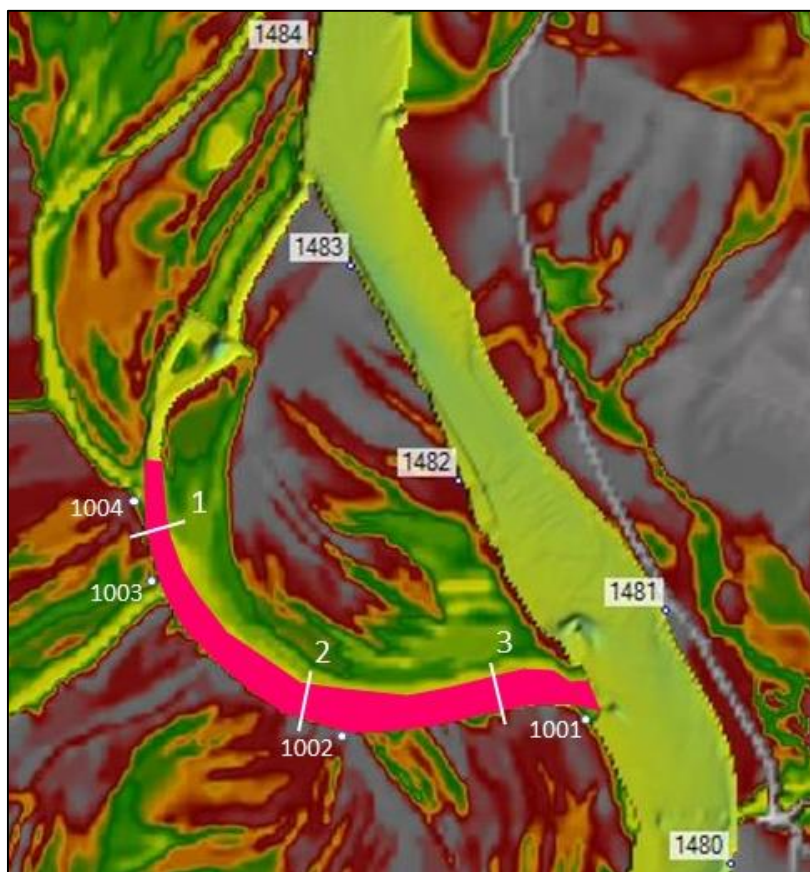
A modellezés munkafelülete a HEC-RAS 5.0.3. verziója. A programot az amerikai hadsereg (USACE- US Army Corps of Engineers) Mérnök Hidrológiai Központja (HEC-Hydrologic Engineering Center) folyamatosan fejleszti és teszi ingyenesen hozzáférhetővé a honlapján.

5.1. MEDERMODELL ÉPÍTÉSE

A modellezés pontosságának biztosításához elengedhetetlen a megfelelő medermodell, mint bemenő adat biztosítása. Ezen kutatás célja a különböző mederfelmérési módzatok 2 dimenziós hidrodinamikai modellezésre gyakorolt hatásainak vizsgálata. Mivel az eltérő technológiák eltérő mértékben tudták a Vén-Duna medrét feltérképezni, ezért bizonyos helyeken korrekciókat kellett végrehajtani.

Ezeket a helyeket a Dr. Csoma János mérőhajó Multibeam mérése kiegészítésre került az egyszugaras mérés adta tereppontokkal. Erre azért volt szükség, mert a sekélyebb szakaszokon a mérőhajó merüléséből és a műszer látószögéből adódóan vakfoltok maradtak volna. Ezeket a szakaszokat sűrített single-beam mérésekkel kellett a Multibeam mérés pontosságát visszaadni. Ezen felül a mellékág és a főág közötti Koppány-sziget, a felmérés szempontjából, egy magasságok nélküli területnek tekinthető, ugyanis szárazföldi mérést ott nem végeztünk. Ez modellezési szempontból akadályt jelentett, ezért az ArcGIS beépülő moduljának, a HEC-GeoRAS-nak az alkalmazásával ezt a felületet összeégettük egy a Magyarország digitális terepmodelljének a terület lefedő darabjával, így a teljes szakaszra egy összefüggő lefolyási területet illeszthettünk. (Majer et al. 2018)

Az ország egész területét lefedő „hivatalos” DDM-ek mind szintvonalas térképek digitalizálásával készültek. Elnevezéseik: DDM-100, DDM-50, DDM-10, DDM-5, melyben a szám a pixel felbontásra utal. A DDM-100 az 1:100 000 méretarányú, EOTR topográfiai térképekből készült, a DDM-50 és a DDM-10 az 1:50 000 méretarányú, Gauss-Krüger katonai topográfiai térképekből, míg a DDM-5 az 1:10 000 méretarányú EOTR topográfiai térképekből. A történeti fejlődés eredményeként úgy alakult a dolog, hogy a DDM-100 és a DDM-5 adatgazdája a „civil” térképezési munkákért felelős FÖMI (Földmérési és Távérzékelési Intézet), míg a DDM-50 és a DDM-10 a Magyar Honvédség (HM Térképészeti NKft) kezelésében áll. (Telbisz et al. 2013)



11. ábra: Hec-Ras 2D modell geometria – vizsgált szakasz

5.2. HIDROLÓGIAI ADATOK ÉS KALIBRÁCIÓ

A modellezés pontosságát a felszín és a meder érdessége nagymértékben befolyásolja. A modellre vonatkoztatott Manning-féle mederérdességi tényező megválasztásánál három részre osztottuk a területet. A mellékág és a főág mederének borítottsága, vonalvezetése eltérő, vagyis ezek két különálló területet alkotnak az érdességet tekintve. A Koppány-szigetet bevonva a lefolyási területbe kaptunk még egy, érdességében a másik kettőnél lényegesen eltérőbb részt. Azzal a céllal, hogy a kalibrálás során ezeknek a területeknek az érdességi tényezője külön-külön állítható legyen, külön rétegenként adtuk őket hozzá 'Land Cover layer'-ként.

A vizsgált modell terület felett legközelebb Domborinál, alatta Bajánál található vízmércét. A két vízmércén rögzített vízállás adatok vízállás idősorokkal való összehasonlításával megállapítottuk, hogy ezen a szakaszon a vízmércék vízállás adatai összhangban vannak, az árhullámok a két mércé között nem lapulnak el, továbbá a modell felső határa 1484+280-nál található, ez a bajai mércéhez van közelebb, így felső határfeltételként a bajai mércén mért vízhozam adatokat, alsó határfeltételként pedig ugyan e mércén rögzített vízállás adatokat használtuk. A modell terület alsó határa sem ért el a vízmércéig, ezért a vízállás adatokat az esés figyelembevételével transzformáltuk.

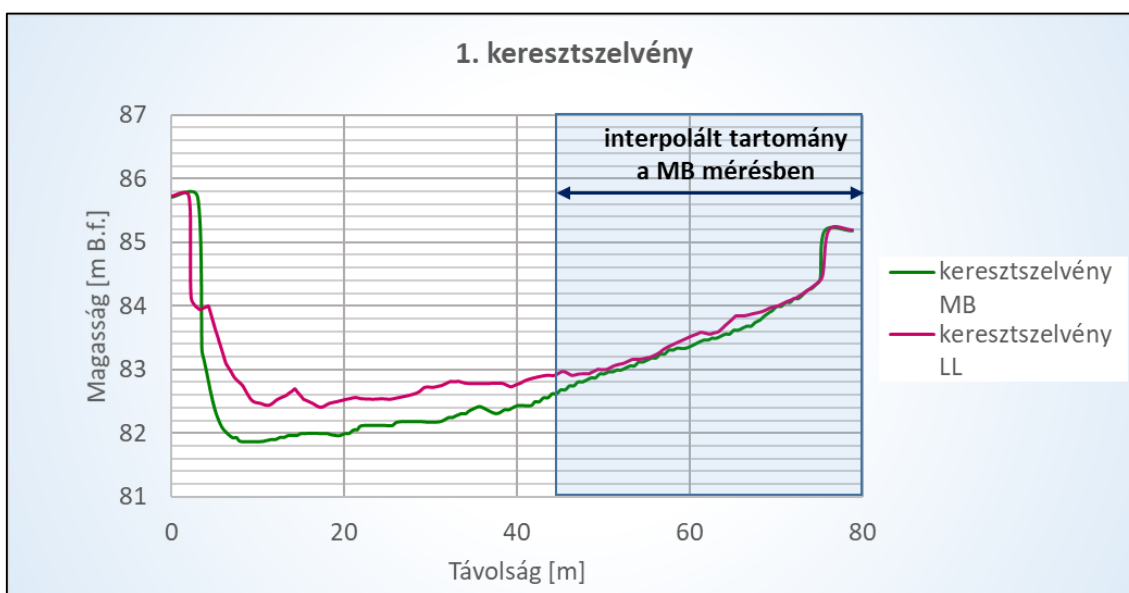
A hidrodinamikai modellt a felvételi vízszinthez kalibráltuk, majd más vízálláskor felvett vízfelszínre validáltuk. (Majer et al. 2018)

Az összehasonlítást úgy végeztük, hogy a vizsgált mederszakaszon csak a Multibeam méréseket hagytuk meg illetve a felvételi vízszinthez interpoláltuk a medret, majd ezt egyesítettük a már meglévő egész területet lefedő terepmodellel. Majd HEC-RAS-ban futtattuk a kalibrált modell bemenő paramétereivel.

Ugyanígy jártunk el a kereszt-szelvények esetében is. A vizsgált szakaszon csak a kereszt-szelvényekkel dolgoztunk, majd interpoláltuk a medret. Ezt egyesítettük a már meglévő egész területet lefedő terepmodellel. Majd HEC-RAS-ban futtattuk a kalibrált modell bemenő paramétereivel. A meder mérésével párhuzamosan vízfelszínrögzítésre és a Vén-Duna vízhozam felvételezésére is sor került. Ezen adatok szolgálták paraméterül a modell kalibrációjának.

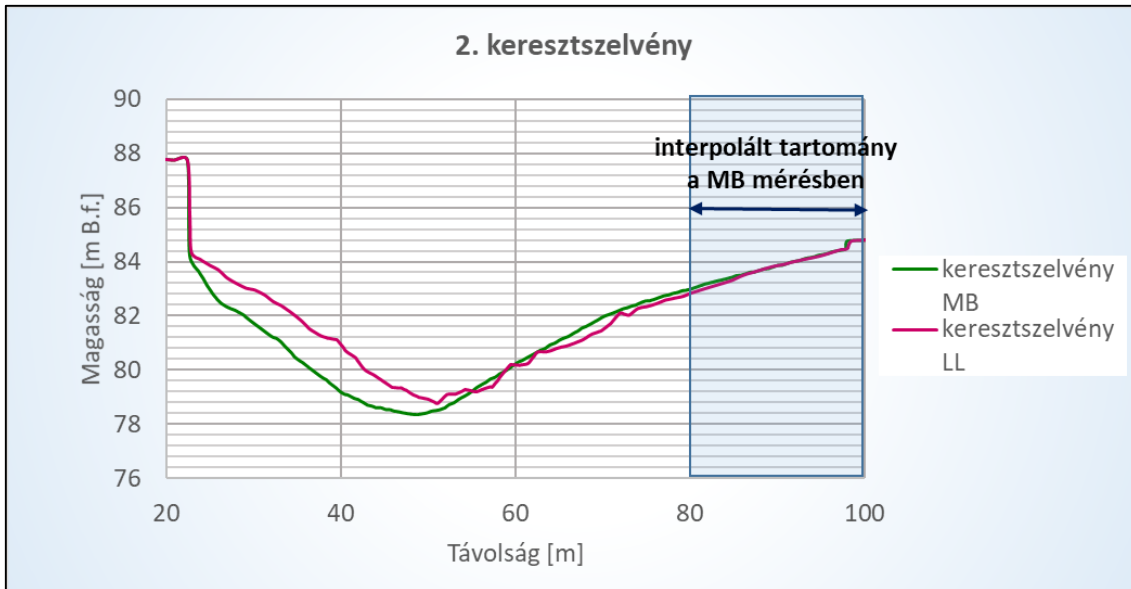
6. EREDMÉNYEK

A két felmérési technológia összehasonlítására a **11. ábrán** kijelölt mederszakasz került kiválasztásra, mivel a felsőbb szakasz változatos medrét nem lehetett mind a két technológiával optimálisan felmérni bajai 333 cm vízállás mellett. Az így kapott terepmodelleken a hidrodinamikai vizsgálat csak azon a szakaszon került végrehajtásra, ahol a két felmérési mód adta medermodell egybevágtott. Az összehasonlított kereszt-szelvények helyét a **11. ábra** mutatja. (ld; 11-12. oldal, 12-13-14. ábra)

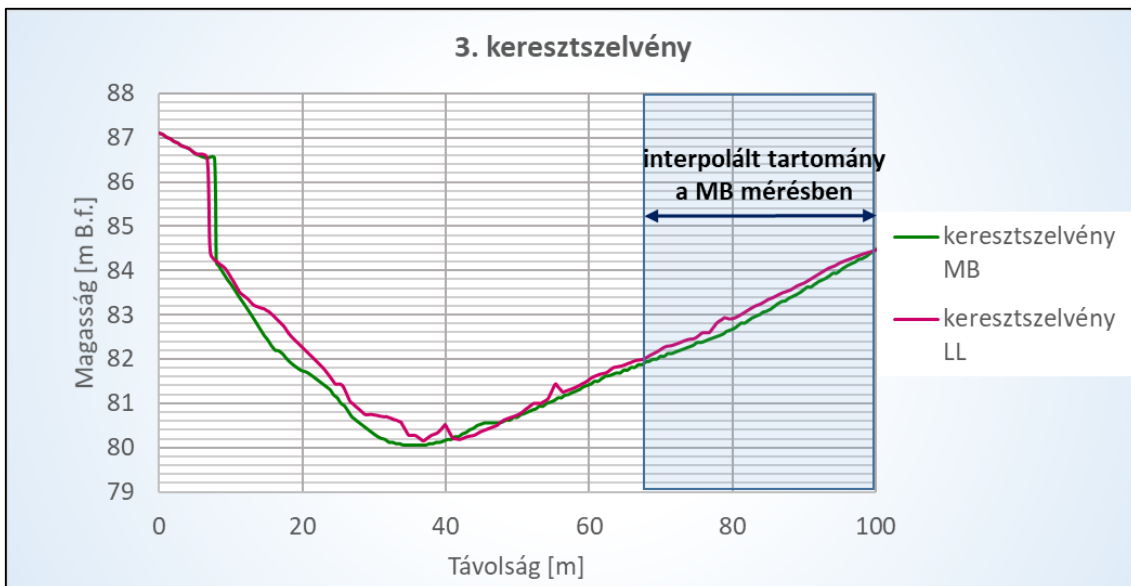


12. ábra: 1. vizsgált kereszt-szelvény – 1001*

A vizsgált mederszakasz néhány jellemző kereszt-szelvényét hasonlítjuk össze az **12-14 ábrákon**. A Multibeam kereszt-szelvények esetében a sekélyebb domború part felmérése nem történt meg, ezért ott a felvételi vízszinthez végeztük az interpolációt. A hagyományos technológia esetében sikerült a domború partot is felmérnünk, de ebben az esetben a kereszt-szelvények között kellett interpolációt végeznünk.

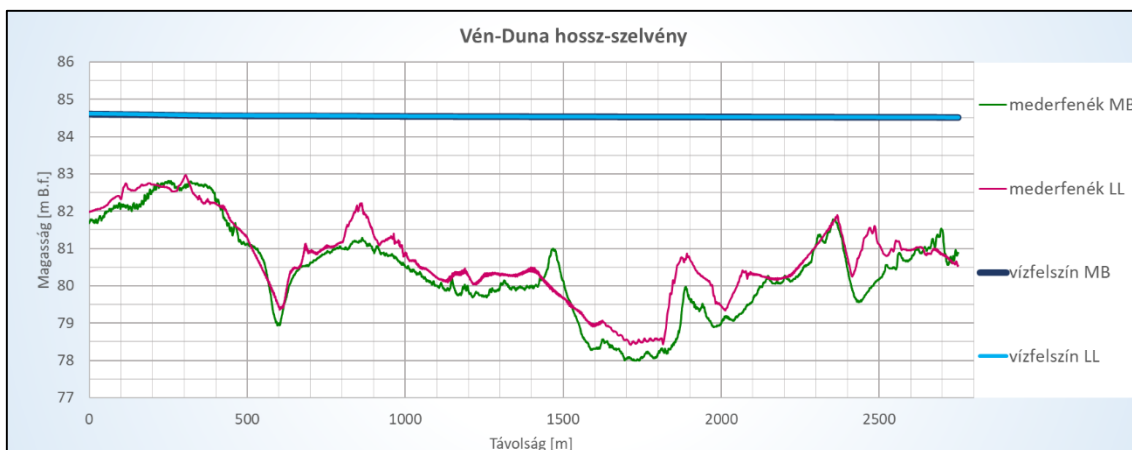


13. ábra: 2. vizsgált keresztaszelvény – 1002*



14. ábra: 3. vizsgált keresztaszelvény – 1004*

A felmérési modellek pontosságáról jobb és tisztább képet kapunk egy a vizsgált szakasz középvonalán felvett hossz-szelvény segítségével. Itt a Multibeam és a Lead line felmérés fenékvonalát és a terepmodellekre épülő hidrodinamikai modell által adott vízfelszínrögzítés eredménye látható. A meder vonalában látható eltérések egy része a Lead line technológiából adódó szelvény menti felmérés és az azok közötti hosszanti interpolációjából adódik. Az ábrán jól kivehető a közel azonos intervallumonként jelentkező egyezés – a fenék vonalak egymással való keresztezése. A mért szelvények közötti eltérés az interpoláció simító hatása miatt jelentkező hiba. (ld; 13. oldal, 15. ábra)



15. ábra: Vén-Duna hossz-szelvény – számított vízfelszín – Lead line + Multibeam

A modell kalibrációja során, a mért vízfelszínhez, Manning érdességgel közelített vízfelszínhez hasonlítottuk. Mindkettő esetben közel azonos számított vízfelszín értékeket kaptunk. Az eltérések a mért és számított vízfelszín között abszolút értékben átlag 4 cm.

1. Táblázat: Vízfelszínrögzítés és számított vízfelszín – Lead line + Multibeam

Alappont száma	Idő	Rögzített vízfelszín [m B.f.]	Vízfelszín MB [m B.f.]	Vízfelszín LL [m B.f.]
1004	14:30	84.57	84.57	84.58
1003	13:45	84.58	84.54	84.55
1002	12:25	84.56	84.53	84.54
1001	9:45	84.57	84.53	84.51

A kalibrált modellt ezt követően 100 cm-rel magasabb vízállásnál validáltuk. Az eltérések átlaga ezen a vízállás tartományon 2 cm.

2. Táblázat: Vízfelszínrögzítés és számított vízfelszín – Lead line + Multibeam

Alappont száma	Idő	Rögzített vízfelszín [m B.f.]	Vízfelszín MB [m B.f.]	Vízfelszín LL [m B.f.]
1004	13:20	85.60	85.63	85.64
1003	14:45	85.60	85.62	85.62
1002	15:30	85.58	85.59	85.59
1001	16:00	85.56	85.56	85.57

Vízhozamok tekintetében, a mederméréssel párhuzamosan végrehajtott ADCP vízhozammérés 46 m³/s-hoz képest, a Multibeam szonár hidrodinamikai modell 2%, míg a Lead line modell 5%-os eltérést mutat.

7. ÖSSZEHASONLÍTÁS

A kalibrációs és validációs eredményekből látható, hogy a kétdimenziós hidrodinamikai modellezés szempontjából nincs számottevő különbség a felmérési módzatok között. Azonban a teljesebb képhez szükséges összehasonlítani a felmérésez használt technológiák idő és humán erőforrás szükségletét – kiegészítve az ehhez tartozó költségekkel.

3. Táblázat: Technológia költségelemzés

/	Lead line	Multibeam
Technológia ára	~ 6500 EUR	~ 210 000 EUR
Mederfelmérés: [1 fkm-re] [500m szélesség]	Adat: Szelvényenként: 100 m	Adat: Pontfelhő (~cm)
Felmérési idő:	2 h	1 h
Humán ef.:	2	2
Adatfeldolgozás: [1 fkm-re]	Adat: Szelvényenként: 100 m	Adat: Pontfelhő (~cm)
Feldolgozási idő:	2 h	5 h
Humán ef.:	1	1
DEM eredmény:	Szelvények között interpolált	Pontfelhő: Pontos mederkép

Felmérési technológiák összehasonlítása rámutat arra, hogy a feladathoz kell megválasztanunk a megfelelő felmérési technológiát. A MB technológiával készített terepmodell pontosabb és megbízhatóbb eredményt hoz, viszont a beruházási költsége és az adatok, szűrése feldolgozása igencsak forrásigényes. Hagyományos felmérési technológiai beruházási költsége nagyságrenddel alacsonyabb. A felvett kereszt-szelvények nagy szórása miatt az adatok szűrésén kívül érdemes referencia/ellenőrző méréseket végezni. Az ebből készítendő terepmodell építésénél nagy gondossággal kell eljárunk.

8. ÖSSZEGZÉS

A tapasztalataink alapján kijelenthető, hogy a Multibeam szonár segítségével előállított részletesebb medertérkép a 2D hidrodinamikai modell futtatásakor elenyésző különbséget eredményezett. A Multibeam felmérés összehasonlíthatatlanul részletesebb képet ad a mederről, mint a szelvénymérés, ám lényegesen drágább is. A rendszer robusztussága nagyobb üzembiztonságot eredményez, és a mérés szinte teljesen automatikus. Sok esetben viszont felesleges ekkora részletesség, a feldolgozási idő pedig jelentősen hosszabb, mint szelvénymérés esetén. Így mindig az adott feladat igényeihez mérten célszerű kiválasztani a mérési módszert. Ugyanakkor a Multibeam nagy előnye, hogy egyszeri felméréstől bármilyen adatigényt ki lehet elégíteni, legyen az szelvény, vagy egy részletes medermodell.

Az árterek, töltések felmérésére manapság használatos LIDAR mérések hasonló részletességű terepadatokat szolgáltatnak, melyekhez szelvényekből interpolált

medermodell kapcsolása igen körülményes, ám Multibeam felméréssel szépen összekapcsolható, egyenszilárdságú terepmodell kapható a vízfolyásról töltéstől töltésig.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap (ESZA) társfinanszírozásával valósul meg (a támogatási szerződés száma: EFOP-3.6.1-16-2016-00025, projekt címe: A vízgazdálkodási felsőoktatás erősítése az intelligens szakosodás keretében)

FORRÁSMUNKÁK

C. Davenport, I. Voiculescu (2015): Mastering AutoCAD Civil 3D 2016: Autodesk Official Press, John Wiley & Sons, Indianapolis, Indiana

Detrekői Á. (1991): Kiegyenlítő számítások, Tankönyvkiadó, Budapest

N. El-Sheimy, C. Valeo, A. Habib, C. Valeo (2005): Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation And Applications. Artech House, United Kingdom

Herczeg Á. (2010): Felület illesztési módszerek megbízhatósági kérdései. Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, Geofizikai Tanszék, Miskolc

Kalocsa B. – Zsuffa I. (1997): A magyar Duna szakaszának vízállásváltozásai. Hidrológiai Közöny, 4. kötet, p. 189.

Majer F. – Koch D. – Tamás E. A. (2018): A Vén-Duna mellékág 2D hidrodinamikai modell építésének tapasztalatai. IX. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Debrecen

Právetz T. (2018): A morfológia és a mederanyag-egyenleg térbeli és időbeli változása a Maros síksági szakaszán. Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, Földtudományok Doktori Iskola, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged

Sziebert J. – Zellei, L. (2003): A Vén-Duna élőhely revitalizációs program II. ütem és monitoringja. Eötvös József Főiskola Műszaki Fakultás, Baja.

Sziebert J. (2010): Folyók mederfelmérési módszerei és az adatok feldolgozása, In: XXVIII. ORSZÁGOS VÁNDORGYŰLÉS Sopron, július 7-9.

Tamás E. A. – Sziebert J. – Varga A. – Zellei L. (2011): A Vén-Duna mellékág élőhely-rekonstrukciós célú részleges megnyitásának hosszú távú morfológiai monitorozása. Magyar Hidrológiai Társaság, XXIX. Országos Vándorgyűlés, Eger.

Tamás E. A. – Koch D. – Keve G. – Varga A. – Varga Gy. – Vas L. T. (2014): Surveys and modelling of the flow processes in Vén-Duna, the first reopened side-branch of the Danube river, Hungary. BSB Net-Eco International Conference "Environmental aspects and available scientific tools for Black Sea Basin protection" "DELTA and WETLANDS". Tulcea, Románia

Telbisz T. – Székely B. – Timár G. (2013): Digitális Terepmodellek: Adat, látvány, elemzés. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Természetföldrajzi Tanszék, Budapest

Varga, A., (2013): Hidrometriai mérőgyakorlat, Nagyvízi mérés segédlet. Baja: Eötvös József Főiskola

Internetes források:

Kongsberg Maritime AS (2006): EM 3002 Multibeam echo sounder
<https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/7C8510CFA3CD21ABC1256CF00052DD1C?OpenDocument>

NOAA (2018): Exploring the Deep Ocean with NOAA: Wet Maps
<https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/edu/collection/media/hdwe-MMmaps56.pdf>

Sárközy F. (1991): Térinformatika, BME
http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/tbev.htm

Szilágyi, D. (2017): Közös mérőgyakorlat a legmodernebb technikával. NKE VTK
<https://vtk.uni-nke.hu/hirek/2017/03/30/koz-os-merogyakorlat-a-legmodernebb-technikaval>