

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

**HORDALÉKEGYENLEG VIZSGÁLATA
HIDROMORFOLÓGIAI FELMÉRÉSEK SEGÍTSÉGÉVEL A
MAROS MAGYARORSZÁGI ÉS ROMÁNIAI SZAKASZÁN**

Országos Tudományos Diákköri Konferencia

Právetz Tamás

SZTE, TTIK/ Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék
Geográfus MSc/ Geoinformatika

Témavezető:

Dr. Sipos György

Egyetemi adjunktus

SZTE, TTIK/Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

Szeged

2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Előzmények.....	4
2.1. Hidromorfológiai felmérések általános célja és technikái.....	4
2.3 Hidromorfológiai célú domborzatmodellezés	8
2.3.1 Adatfelvételezés	8
2.3.2 A domborzatmodell pontossága	10
2.4. Folyókon emberi hatásra változó hordalékháztartás	11
2.4.1 Kapcsolatok egy folyórendszerben	11
2.4.2 Területhasználat a vízgyűjtőn.....	12
2.4.3 Gátak, víztározók hatása	12
2.4.4 Hordalék-kitermelés, bányászati tevékenység	13
3. Mintaterület	14
3.1 Maros.....	14
3.2 Mérési területek.....	18
4. Módszerek	20
4.1 Mérési időpontok, felhasznált műszerek	20
4.2 Mintaterületek szelvényei.....	21
4.3 Mérés menete	22
4.4 A felmérések relatív hibájának becslése.....	25
4.5 Feldolgozás menete	26
4.4.1 ADCP adatok feldolgozása	26
4.4.2 Mérőállomás adatok feldolgozása.....	28
4.4.3 Domborzatmodellezés	28
5. Eredmények.....	30
5.1 Felmérésből, domborzatmodellezésből adódó hiba meghatározása.....	30
5.1.1 Felmérésből származó hiba mértéke	30
5.1.2 A modellezésből adódó különbségek	31
5.2 A lippai felmérések eredményei.....	32
5.3 Az aradi felmérések eredményei	34
5.4 A pécskai felmérések eredményei	37
5.5 Az apátfalvi felmérések eredményei	39
6. Mérési területek összehasonlítása.....	43
6.1 Meder változékonyságának meghatározása	43
6.2 Hordalékegyenleg normalizált változása.....	44
7. Eredmények összefoglalása, következtetések	48
Köszönetnyilvánítás	50
Irodalomjegyzék.....	51

1. Bevezetés

Folyóink morfológiáját közvetlenül és közvetve is nagyban befolyásolják az emberi beavatkozások. A fluviális rendszerek dinamikájának egyik kulcs tényezője a vízfolyások által szállított görgetett hordalék mennyisége, illetve a folyók hordalékháztartása. Ennek vizsgálata hazai viszonylatban nem általános, kevés ilyen irányú méréssel találkozhatunk a szakirodalomban. A folyószakaszon több antropogén hatás is befolyásolhatja a folyó hordalékháztartását: vízgyűjtőterületek területhasználatának megváltozása, gátak, víztározók létesítése, továbbá a bányászati tevékenységek, amely legfontosabb befolyásoló tényezője a dolgozatban vizsgált folyónak.

A dolgozat fő célja hidromorfológiai vizsgálatok segítségével meghatározni a hordalékegyenleg változását a Maros magyarországi, illetve romániai szakaszán, ahol igen intenzív hordalék-kitermelés befolyásolja a természetes folyamatokat.

A fenti kérdés megválaszolásához az alábbi részcélok lettek kitűzve:

- A különböző eszközökkel felmért adatok egy térinformatikai rendszerben való feldolgozása.
- A meder morfológiai változásinak meghatározása, zátonyok fejlődésének számszerűsítése.
- A mintaterületek hordalékegyenlegének meghatározása, változásának vizsgálata.
- A folyó hossz-szelvényének mentén a mintaterületek összehasonlítása, a hordalék-kitermelés hatásának meghatározása.
- Olyan mérési eljárás kidolgozása, amellyel nyomon követhető a hosszútávú hordalékegyenleg-változás.

A mérések négy időpontban és több helyszínen történtek, azonban a területek hidromorfológiai felépítése hasonló volt, azaz gázló és üst szakaszok váltogatják egymást. A mintaterületek a bányászati tevékenységek elhelyezkedéséhez igazodnak, egy terület a homokkitermelés felett található, két terület a bányászati tevékenységek alatt, míg egy terület az alsóbb szakaszon.

Több időpontban történtek a mérések, különböző hidrológiai helyzetekben, amelyből kettő nagyvizes, kettő kisvizes felvételezés volt. Apátfalván emellett további két időpontban is készült kisvizes felmérés.

A felmérés során több műszer segítségével történt az adatgyűjtés, a víz alatti felszínnek ultrahangos műszerrel, míg a kisvízkor vízszint fölé kerülő mederformák vizsgálata

mérőállomás segítségével valósult meg. A felmérések során keresztshelvények és hosszshelvények kijelölésére is sor került, minden mérés során ugyanazok a shelvények kerültek felvételezésre. Minden mintaterületen egységes vetületi rendszerben kerültek megjelenítésre az adatok (UTM).

A magassági értékek alapján minden területről, minden mérési időpontban domborzatmodellek készültek a mederről, különféle interpolációs eljárások tesztelésével.

Az elkészített domborzatmodellek alapján kerültek meghatározásra az adott szakaszokon a meder térfogatának változásai, továbbá meghatározásra került a medertalp magassági változása, illetve a mérésből származó hibák nagysága. Az egyes mérési időpontok közötti nettó és abszolút változás szintén a domborzatmodellek alapján meghatározható, amellyel vizsgálható a területen átmozgatott hordalék minimális mennyisége.

A mérések elvégzése és kiértékelése után, meghatározható a mintaterületeken történt morfológiai változások számszerűsítése. A számolt térfogatértékek alapján az egyes mérési területeket összehasonlítva vizsgálható a hordalék-kitermelés hatása, várható jövőbeni változása. További mérésekkel kiegészítve, monitoring tevékenység végezhető.

2. Előzmények

2. 1. Hidromorfológiai felmérések általános célja és technikái

A hidromorfológiai felmérések célja a meder fejlődésének, változásainak meghatározása, nyomon követése. Segítségével elemezhető a medermorfológia változása, a meder dinamikája. Megfelelő domborzatmodellek esetén meghatározható a medertérfogat változása, az egyes mérési pontok között. Folyamatos újrafelvételezések esetén jövőbeni változásokat is lehet modellezni. A felmérésekhez több eszköz is rendelkezésre áll.

Hidromorfológiai felmérésekhez használatos műszerek, mind a felmérés menetében, mind a szolgáltatott adatot illetően jelentősen különböznek egymástól (1. táblázat).

1. táblázat Hidromorfológiai felmérésekhez alkalmazható eszközök

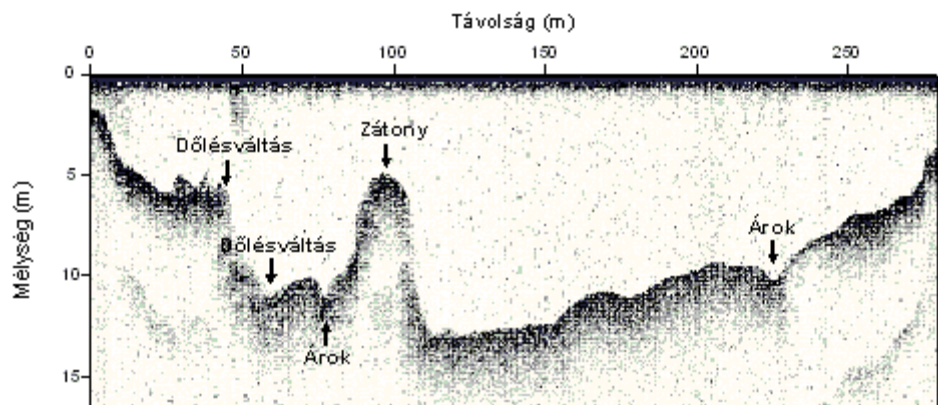
Műszer	Mérési környezet	Működés elve	Szolgáltatott adat
Szonda rúd	víz alatt	közvetlen mérés	pont
Szonár	víz alatt	ultrahang	pont
Mederszkenner	víz alatt	ultrahang	felszín
ADCP	víz alatt	ultrahang	pont
Mérőállomás	víz felett	optika/lézer	pont
RTK GPS	víz felett	rádiójelek	pont
Fotogrammetria	víz felett	légifotó	felszín
Távérzékelés	víz felett	elektromágneses energia	felszín
LIDAR	víz felett	lézer	pont/felszín

A szondarúd alkalmazása a meder egy klasszikus felmérési technikája. A mérőrudat a meghatározott pontokban a mederre illesztjük, majd leolvassuk a mélységet. Mélyvíz esetén hajóból, kötél segítségével történik az adatfelvétel. A felmérés azonban lassú és körülményes (Németh 1954).

A szonárral történő mérés során az adó nagyfrekvenciás impulzusokat bocsát ki (200 kHz felett), melyek hullámmozgással terjednek a vízben, amikor a jelek a mederhez érnek, illetve bármilyen tárgyhoz, egy részük visszaverődik a műszerhez. A víztől eltérő sűrűségű közeg távolságát a terjedési idő és sebesség alapján határozza meg a műszer. A jel egy része beléphet az új közegbe is, s ott újabb visszaverődés történhet, amelynek hatására akár több felület is kirajzolódhat. A meder éles, kontrasztos határvonallal jelenik meg (1. ábra). (Prónay és Törös 2001).

A mederszkenner működési elve szintén az ultrahangos elven működik, a változó közeghatárról visszaverődő jel rajzolja ki az egyes formákat. Nagy előnye, hogy megfelelő

műszer esetén egy folyóközepi hosszanti mérés segítségével felmérhető a teljes meder, amennyiben megfelelő mélységű a víz. Kisebb műszerek esetén vagy alacsonyabb vízállásnál több szelvény felvételére is szükség lehet (Sziebert 2010). A műszerek segítségével egyszerűen térképezhető a vízfelszín alatt lévő meder felépítése, formái. A felmérési technikát sokrétűen használják hidromorfológiai felmérések során (Eilertsen és Hansen 2008, Topping et al. 2007, Wilson 1986).

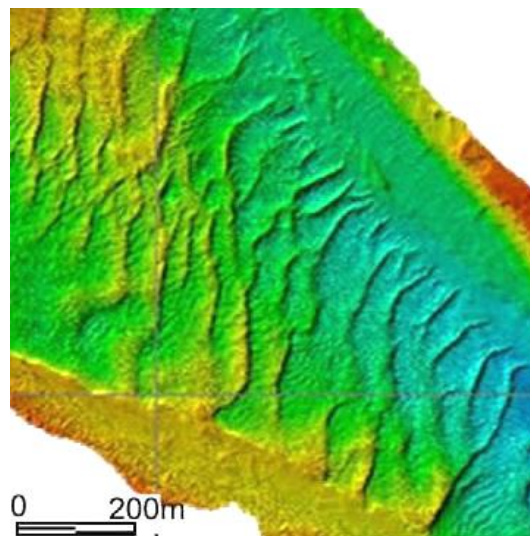


1.ábra Szonárfelmérés a Dunán (Prónay és Törös 2001)

Az ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) műszer fő alkalmazási területe a vízsebesség és vízhozam mérés. Az ADCP-vel történő sebességmérés a Doppler-effektuson alapul, ennek megfelelően a műszer állandó frekvencián ultrahangot bocsát ki 600-1200 kHz-en, amely visszaverődik a lebegtetett hordalék szemcséiről. A Doppler-effektus miatt a visszakapott jel frekvenciája megváltozik az illető szemcse sebességének függvényében. Ha a részecske közeledik, a visszaverődő hang frekvenciája megnő, míg ha távolodik, akkor csökken. Minél nagyobb a frekvenciaváltozás, annál gyorsabban mozog a lebegtetett hordalék, így a víz. (RD Instruments 1996, Kostaschuk et al. 2005). Az ADCP-t sokrétűen használják: Richardson és Thorne (2001) fonatos folyón térképezték az áramlási viszonyokat és a vízsebességet. Majd az eredményekből modellezték a várhatóan bekövetkező változásokat, míg Tiron et al. (2009) a Duna deltánál végzett hasonló vizsgálatokat.

Az ADCP ugyanakkor alkalmas mederfelmérésre is, ugyanis a 4 mérőfej által mért mélységet a műszer átlagolja, s ez lesz az aktuális pontban mért mélység. Megfelelő kalibrációval vizsgálható a lebegtetett hordalék mozgása és mennyisége is. A műszerrel összehasonlítható az egyes területek hordalékháztartása (Gómez et al. 2010, 8. ábra). Nagy előnye az egyszeri méréssel rendelkezésre álló vízsebesség, illetve mélység adat, kiegészítve egyéb adatokkal (idő, víz hőmérséklet, hajó sebessége stb.) Hátránya, hogy teljesen tiszta

vízben, illetve nagyon nagy lebegtetett koncentráció mellett nem használható (RD Instruments 1996).



2. ábra Mederdomborzat ADCP-s felmérés segítségével (Gómez et al. 2010)

A mérőállomás egy szoftverrel és távolságmérővel ellátott teodolit, amely egy prizma segítségével határozza meg a pont távolságát, a kisugárzott és visszavert jel időkülönbségéből (Varga 2003). A mérés során a prizmát a terep jellemző pontjaira érdemes helyezni, formákban gazdag térszíneken sűrűbben, míg sík felszíneken ritkábban is elegendő pontokat felvenni, s így később rekonstruálható lesz a felmért forma (Kerekes 2009). Előnye a pontok egyszerű felvétele, azonban nagy területek felmérése időigényes, továbbá a nem megközelíthető pontokat nem lehet felvételezni, míg víz alatti térrészeket csak kisebb vízmélységnél.

A GPS technika alapja a mesterséges holdak által sugárzott rádiójeleken alapul. Ezen sugárzott jeleket érzékelik a földi vevők. Ahhoz, hogy a földi helyzetünk meghatározható legyen legalább 4 műholdat kell látnunk illetve kommunikálni velük (Bartha 2012). A GPS technika fejlődésével, a báziskorrektció beindításával egyre pontosabb műszerek állnak rendelkezésünkre. Az RTK (Real Time Kinematic) rendszerek valós időben szolgáltatnak nagy pontosságú adatokat, mind magassági, mind vízszintes értelemben is, ezáltal akár cm pontosságú mérések végezhetőek el vele. A korrekciós adatokat vagy a FÖMI GNSS Szolgáltató Központja biztosítja, vagy ismert ponton bázis korrekció alkalmazható (3. ábra, Sziebert 2010).

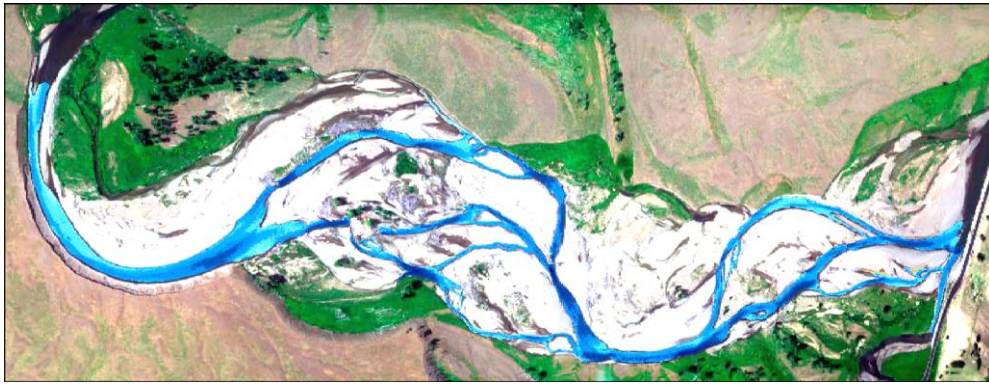


3. ábra GNSS Szolgáltató állomások (www.tankonyvtar.hu)

Más műszerek, (például ADCP, mérőállomás) számára kiegészítő műszerként is alkalmazható, így pontos helymeghatározás érhető el. A GPS technika gyors és pontos felvételezést biztosít az egyes területek felmérésében, amely önmagában is alkalmazható a felszín feletti mederrészek térképezéséhez.

A fotogrammetriai felmérések során főként repülőből (de lehet bármilyen levegőben lévő fényképező rendszer) készült légifotók alapján történik a terület felmérése. Létezik egyképes sík- és többképes sztereofotogrammetria. A síkfotogrammetria segítségével 2D-s elemzések végezhetőek, míg a sztereo fotogrammetria esetén az egyes területek átfedésével lehetőség van a terület 3D-s elemzésére, így alkalmazható a kisvízkor felszínre kerülő mederformák felmérésére is (Mélykúti 2007a). Előnye a gyors mérés, azonban maga a mérés nagyon költséges, s takarásban lévő felszínek nem vizsgálhatóak, továbbá kis magasságkülönbségek nem értelmezhetőek a felvételeken.

A műholdas távérzékelés során a szenzorok az egyes felszíni területekről, tárgyakról, növényzetről visszaverődő elektromágneses energiát érzékelik. A műszer raszteres képet állít elő, így jól meghatározható, hogy az egyes területen milyen felszíni forma, vagy növényzet található (Mucsi 2004). A távérzékelés során, a képeken elkülöníthetőek a vízfelszín feletti területek, digitalizálással vagy osztályozással, ugyanis elég erős kontraszttal térnek el a vízfelületektől. Továbbá kisebb mélységű folyók vagy vízfolyások tekintetében vizsgálható a vízfelület pixeleinek intenzitásértékének különbsége is. Az értékek különbségéből valószínűsíthető a meder mélysége (4. ábra). Több időpontban készített felvételek esetén változásvizsgálat is lehetséges (Fonstad and Marcus 2005).



4. ábra Medertérképezés távérzékelés segítségével (Fonstad-Marcus 2005)

Nagy előnye a technológiának, hogy a felmérések közvetetten történnek így azon területek is vizsgálhatóak vele, amelyek csak nehezen vagy egyáltalán nem közelíthetők meg. Hátránya viszont, hogy takarásban lévő felszíneket (pl. növényzet takarása) nem, vagy csak nehezen lehet vizsgálni. A felvételek általában kis felbontásban készülnek, ezáltal csak nagyobb formák vizsgálatára alkalmas.

A LIDAR (Light Detecting and Ranging) aktív távérzékelési módszer. A szenzor lézersugarakat bocsát a földfelszín felé, s a visszaérkezés idejéből számítja annak távolságát. Megfelelő GPS rendszer segítségével pontos helymeghatározás is hozzárendelhető a mérésekhez. Nagy előnye az előzőekhez képest, hogy egyszerre több különböző magassági értékről is kapunk vissza jeleket, ugyanis a lézersugár képes áthatolni akár a lombkoronán is, így a takarásban lévő mederrészek is felmérhetők lesznek, s mind a lombkoronáról, mind a felszínről előállítható egy digitális domborzatmodell (Barsi et al. 2003). Hirdomorfológiai vizsgálatokban főként a part felmérése illetve a vízfelszín felett lévő térszínek vizsgálatára lehet alkalmas, ugyanis egyetlen berepüléssel nagy felbontású, pontos adatok állnak rendelkezésre, ami jelentősen lerövidíti a mérés időtartamát. Hátránya, hogy vízfelszín mérésére nehezen alkalmazható a LIDAR, aminek az az oka, hogy a víz elnyeli a beérkező lézersugarat, ezáltal nem veri vissza a vevő irányába (Barsi et al. 2003). A mérések elvégzése nagy költségekkel jár, ugyanakkor egyetlen berepüléssel nagy területek térképezhetőek. Felhasználási területei közé tartozik például a szakadó partfalak vizsgálata (Szatmári 2008).

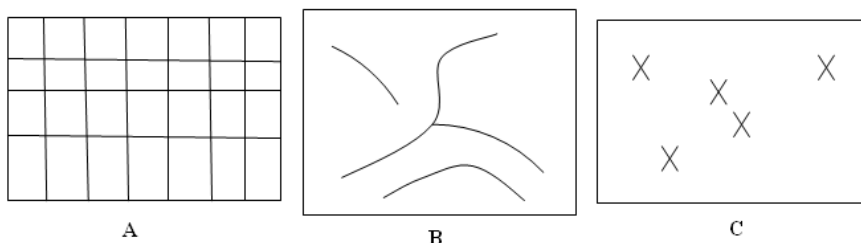
2.3 Hidromorfológiai célú domborzatmodellezés

2.3.1 Adatfelvételezés

A különböző műszerekkel elvégzett hidromorfológiai vizsgálatok során más-más felépítésű adatokat kapunk eredményül. Az ADCP, a mérőállomás, illetve az RTK pontszerű adatokat szolgáltat, a fotogrammetria, illetve a műholdas távérzékelés esetén képi eredményt kapunk, míg a LIDAR-al kész domborzatmodell.

A terepi közvetlen méréseknél, mint az ADCP, mérőállomás, illetve RTK rendszereknél, a felmérést elvégző dönti el, hogy pontosan milyen területek, és mekkora kiterjedésben mér fel, a felbontás sokszor rosszabb, azonban pontosabb mérések érhetőek el. Az adatgyűjtés során a terep jellemző pontjairól gyűjtünk információkat. Ezen információk lesznek a későbbi domborzatmodellünk támpontjai. A modellező program, a támpontok közé további interpolált pontokat helyez el, s így alakítja ki a digitális domborzatmodellt. Az adatok gyűjtése többféle struktúra szerint végezhető el (5. ábra, Bódis 2008):

- A. szabályos modell: a támpontok egy szabályos rácsháló metszéspontjaiban helyezkednek el
- B. strukturális modell: figyelembe veszik a domborzat jellegzetességeit, tulajdonságait
- C. véletlenszerű modell: a felvett pontok véletlenszerűen helyezkednek el, nem esnek a terepfelszín jellemző pontjaira

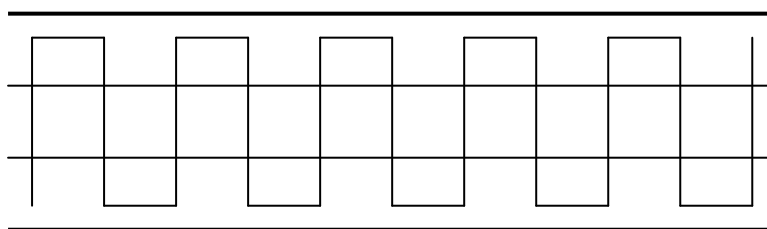


5. ábra Támpontok elhelyezkedése

(A: szabályos, B: strukturális, C: véletlenszerű)

A hirdomorfológiai felmérések esetén a közel szabályos modell az elterjedt, ahol az oszlopok a keresztshelvényeket, a sorok pedig a hosszshelvényeket jelölik (6. ábra).

Fontos azonban, hogy ha hiteles képet szeretnénk kapni egy formáról, akkor megfelelő pontsűrűséget kell alkalmazni. Ezt főként a felmérendő terület, s a meghatározandó formák befolyásolják. A mérések során ezért is érdemes kereszt és hosszirányú felmérések elvégzése is. Fontos hogy a keresztshelvények közötti távolság ne legyen nagyobb a folyó szélességénél (Németh 1954).



6. ábra A felmérés ideális felépítése

Minden interpolációs eljárásnak egy pontszelektálási módszer az alapja. Ugyanis egy új pont meghatározásához nincsen szükség az összes ismert pontra, csak azokra, amelyek döntően meghatározzák az új pont magasságát. Ezen pontok kiválasztására több szelektálási technika is létezik, ezek között a különbség, hogy milyen alakú és méretű síkidommal (kör, négyzet) határoljuk le a felhasználandó pontokat (Mélykúti 2007b). A szelektálást követően kezdődhet meg a támpontok közötti ismeretlen pontok interpolációja.

Az interpolációs eljárásoknak két alapvető típusuk van:

1. torzításmentes interpolációk
2. torzításos interpolációk

A torzításmentes interpolációk az ismert ponthoz közeledve egyre jobban közelítenek annak értékéhez, majd az ismert pontban pontosan visszaadják azt. Ilyen interpolációs eljárás például a TIN (Triangulated Irregular Network) (Kovács és Szanyi 2005).

A torzításos interpolációk az ismert pontokban is csak közelítően adják vissza az eredeti értéket. Ilyen interpolációk a súlyozott átlagszámításon alapuló eljárások: Shepard módszer, természetes szomszéd, vagy a krigelés, ahol az alkalmazott átlagszámítási súlyokat geostatistikai alapokon variogram függvények segítségével határozzák meg. Földtudományi alkalmazásokban a krigeléses interpolációs eljárás a leggyakrabban használt (Kovács és Szanyi 2005).

2.3.2 A domborzatmodell pontosság

A domborzatmodell pontatlanságát nagyban befolyásolják a felmérés során keletkező hibák. A méréseket több hibaforrás is terhelheti (Sárközy 1991): véletlen, szabályos és durva hiba, melyek minden műszernél jelentkezhetnek (2. táblázat).

A véletlen hibák, a valósi helyzet körüli szórást eredményeznek, végtelen sok mérés átlaga a valódi helyzetet szolgáltatná. A szabályos hiba minden mérést egy irányba torzít, a mérési szám növelésével az átlag nem változik. A durva hiba a mérési pontosságot jelentősen meghaladja, nem lép fel rendszeresen, a mérési szám növelésével kiszűrhető.

2. táblázat A hidromorfológiai felmérésekhez leggyakrabban használt műszerek, a műszereket terhelő hibák

Műszer	Véletlen hiba	Szabályos hiba	Durva hiba
Szondarúd	rúd nem függőleges	Súlyt, rudat kitéríti a sodrás	leolvasási hiba
Szonár/Mederszkenner/ADCP	megengedett dőlés, billenés átlépése	merülés rossz beállítása	műszer rosszul mér, hardveres hiba
Mérőállomás	jelrúd nem függőleges, felszínbe fúródása változó	bázis és irányzék nem pontos megadása	műszer rosszul mér, hardveres hiba

RTK GPS	a vevő belső hibáiból tevődik össze	műhold órahibája, sugárzott koordináta hibája, az időjárás zavaró hatásai	GPS jel visszaverődve valamilyen tereptárgyról jut a vevőbe
Fotogrammetria/Távérzékelés	repülő kis mértékű billenése, dőlése	a repülő elfordulása a repülési útvonalról, más terület felvétele, rossz GPS koordináták	műszer hardveres meghibásodása, adattárolási probléma, időjárás

A szondarúd és a mérőállomás használata során a hibák főként a rosszul beállított magasságokból származhatnak, vagy pedig abból, hogy az értékek rosszul vannak leolvasva, illetve eltárolva (Varga 2003).

A vízfelszín alatti formák felméréséhez használt műszerek esetében, mint például az ADCP, az adat-felvételezések során hiba főként a rosszul beállított mérési paraméterek hatására keletkezhet. Pontosán meg kell adni a műszernek a mérési mélységét. Fontos, hogy a felvételezés során a műszernek végig vízben, illetve függőleges helyzetben a meghatározott tűréshatárokon belül kell lennie (Goda és Krikovszky 2002).

A képi adat-felvételező rendszerek esetén hibák főként a repülő, vagy műhold hibás repüléséből, a rossz időjárási körülményekből, a hibás helymeghatározásból és a hardveres hibákból tevődnek össze (Mucsi 2004).

A GPS-es mérések során hibák a vevőből származhatnak, vagy pedig a műhold órahibájából, a hibásan küldött koordinátákból, a troposzférában és az ionoszférában fellépő jelek terjedését befolyásoló tényezőkből, továbbá a másodlagos beérkezésből (Sárközy 1991).

A mérések során a cél a szabályos hibák kiküszöbölése, illetve a véletlen hibák kiátlagolásának elősegítése minél több adat gyűjtésével.

2.4. Folyókon emberi hatásra változó hordalékháztartás

2.4.1 Kapcsolatok egy folyórendszerben

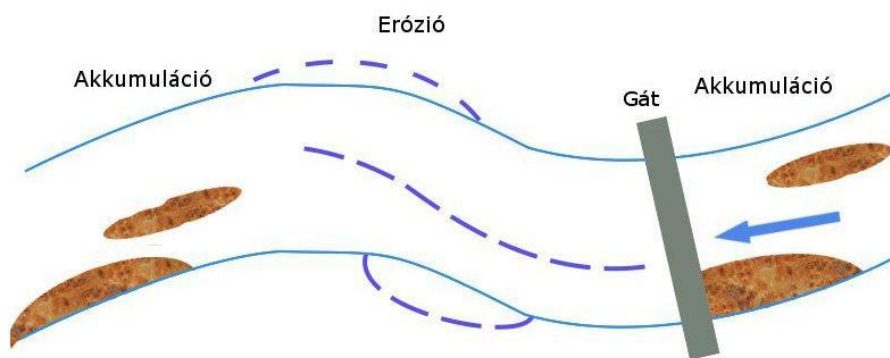
A folyó vízgyűjtőjének általában jól definiált határa van, anyag és energiaáramlása jó közelítéssel meghatározható. Az anyagáramlás leginkább a hordalékmozgásban nyilvánul meg. A rendszert különböző összekapcsoltsági típusok jellemzik, úgy, mint longitudinális, laterális és vertikális kapcsolat. A longitudinális kapcsolat főként magát a mederrendszert jellemzi, a felső és alsó szakasz közötti kapcsoltsági viszonyokat, továbbá a meder hordalék-továbbító képességét. A laterális kapcsolat a meder és tágabb környezete között értelmezhető: lejtő-meder vagy ártér-meder kapcsolat. A vertikális kapcsolat a felszín és felszín alatti térszíneket köti össze, ezeket a kapcsolatokat az emberi beavatkozás jelentősen módosíthatja (Fryirs et al. 2007).

2.4.2 Területhasználat a vízgyűjtőn

A folyók hordalékának jelentős része a vízgyűjtőterületekről kerül a folyóba laterális kapcsolatok révén. Az eróziót, és azt, hogy mennyi hordalék kerül a folyóba főként a csapadék mennyisége, a felszínfedettség és a relief határozza meg. A vízgyűjtő hordalékháztartását az ember leginkább a felszínfedettség, területhasználat megváltoztatásával befolyásolja, ugyanis a területen található növényzet jellege és sűrűsége egyfajta pufferként, geomorfológiai értelemben takaróként (Fryirs 2007) működik a rendszerben, hiszen megakadályozza az anyag folyórendszerbe való jutását (Sándor 2011). Azonban főként antropogén beavatkozás hatására bekövetkező növényzetváltozás (pl. erdőirtás) hatására egyre több lehet az eróziós felszín, amelynek hatására jelentősen növekszik a folyóba jutott hordalék mennyisége (Lóczy és Veress 2005). A védő erdőtakarók hiányában mély árkok, vízmosások alakulnak ki, nagy mennyiségű hordalékot szállítva a völgyekbe, folyókba (Karancsi 2002).

2.4.3 Gátak, víztározók hatása

Egy folyóra épített gát, illetve víztározó akadályként jelentősen módosítja a kapcsoltságot az egyes folyószakaszok között, s jelentős befolyással lehet a folyó hordalékháztartására, megakadályozza a folyórendszeren a longitudinális anyagmozgást (7. ábra).



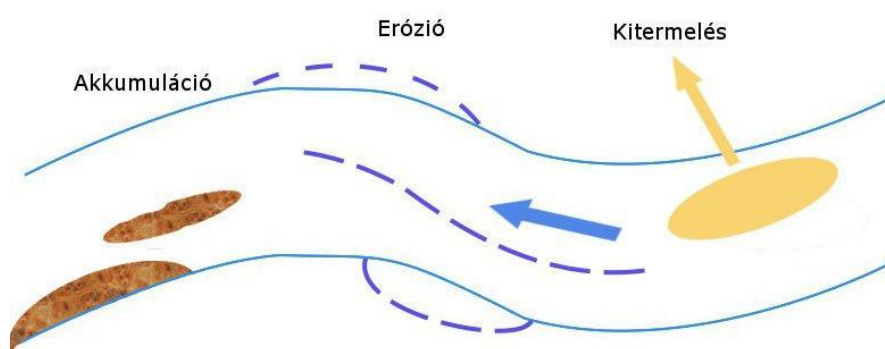
7. ábra Gátak hatása a folyók hordalékháztartásra

A gát megakadályozza a görgetett hordalék továbbszállítását, amely így folyamatosan felhalmozódik a gát mögötti tározóban, feltöltve azt, fokozatos tározókapacitás veszteséget okozva. A gát alatti részen a hordalékhiány miatt megnő a folyó energiája, ezáltal jelentős erózióra lesz képes, amelynek hatására bevágódás indul meg. A megnövekedett munkavégző-képesség hatására laterális erózió is felléphet, megindulhat a partfalak folyamatos erodálása. A hordaléktermelés hatására az alsóbb szakaszokon újbóli hordalék-felhalmozás alakulhat ki

(Harvey 2007). A folyók torkolata is jelentősen átalakulhat a változó hordalékháztartás hatására (Blott et al 2006).

2.4.4 Hordalék-kitermelés, bányászati tevékenység

A bányászat az egyik legfontosabb és legközvetlenebb antropogén beavatkozás, mely megváltoztatja a hordalékháztartást a folyómederben. Számos folyón zajlik homok- és kavicskitermelés, ami történhet a folyó mellett, vagy közvetlenül a folyóból. A folyó melletti bányászatnál a kitermelt meddőhányó becsúszása a folyóba, a hordalék mennyiségének növekedését okozhatja. A folyóból történő bányászat általában ezzel ellentétes folyamatot eredményez (8. ábra).



8. ábra Bányászat hatása a hordalékháztartásra

A nagymértékű kitermelés hatására, jelentősen lecsökkenhet a folyóban a görgetett hordalék mennyisége. A hordalékszállítás menetében megszűnik a longitudinális kapcsolat, csökken a hordalék-továbbítás az egyes területek között. A gátépítéshez hasonló hatások jelentkeznek: a folyó alsóbb részein a hordalékhiány miatt jelentősen megnő a folyó munkavégző képessége, így ott jelentős eróziós folyamat indulhat el, a folyó bevágódik, növelve a görgetett hordalék mennyiségét, amely az alsóbb szakaszokon akkumulálódhat (Harvey 2007). A zátonyok fejlődése a felső részeken gátolva van, az alsóbb részeken azonban a geomorfológiai fejlődés folyamatos, esetenként gyorsul is (Blott et al. 2006, Wishart et al. 2008, Martín-Vide et al. 2010).

3. Mintaterület

3.1 Maros

A Maros folyó a Tisza legnagyobb mellékfolyója, az Erdélyi medence vizeit vezeti le nyugati irányba. Forrása Marosfőnél található 850 méteres tengerszint feletti magasságban, Szegednél torkollik a Tiszába 80 m-es tengerszint feletti magasságban. A folyó hossza 749 km, vízgyűjtőterülete meghaladja a 30 ezer km²-t (Csoma 1975). A terület többsége (95%), Romániában, határon túl helyezkedik el (Andó 2002). A vízgyűjtő domborzata alapján több részre lehet osztani: 25% hegyvidék, 55%-a fennsík és dombvidék, 15%-a folyóvölgy jellegű, illetve 5%-a síkság. A Maros folyó hossz-szelvénye mentén, bevágódó és feltöltődő szakaszok váltogatják egymást (Molnár 2007). Lippáig egy viszonylag szűk völgyben halad, majd az alföldre való kilépés után, nagy kiterjedésű hordalékkúpot épít, amelybe helyenként bevágódva halad tovább (Csoma 1975).

A Maros vízgyűjtőjét, sűrű vízhálózat alkotja, a vízfolyások száma meghaladja a százat. A területen található hőmérséklet és csapadék viszonyok alakulásában az atlanti-óceáni, a mediterrán, illetve a kelet-európai légtömegek hatásai érvényesülnek. A Maros vízjárását több tényező is befolyásolja, ilyen a területre hullott csapadék mennyisége, illetve a fajlagos lefolyás, amely a terület domborzati adottságaitól, a növényzettől, és a talajviszonyoktól függ (Csoma 1975). A vízbevitelben jelentős évszakbeli és regionális különbségek vannak. A legkisebb mennyiség a téli időszakban adódik a hó felhalmozódása miatt. Tavasszal a hóolvadáskor, márciustól–áprilisig jelentősen megnövekszik a területi vízbevitel (Boga és Nováky 1997). Az összegyülekezés folyamatában jelentős szerepet játszanak a Maros mellékfolyói, amelyekre a heves vízjárás a jellemző, azaz gyors vízszintemelkedések és apadások váltogatják egymást. Ennek következtében a Maros felső szakaszán szintén a heves vízjárás lesz a jellemző, amely érezteti hatását a teljes szakaszon (Boga és Nováky 1997).

A Maros árvize általában megelőzi a Tisza áradását (Csoma 1975). Vízhozama Makónál árvízkor 1600 m³/s, míg kisvízkor 20-30 m³/s, ami jelentős, majd 80-szoros különbség. (Sipos és Kiss 2003)

A Maros nagyesésű folyó, ez a teljes szakaszon jellemző rá. A forrástól egészen Lippáig nyugati-északnyugati irányú völgyben, hegyvidéken kanyarog, itt az esése 40 cm/km. Ez az esés Arad után csökken, értéke 20 cm/km lesz. (Andó 2002)

Hordalékviszonyát tekintve a Maros annyi görgetett hordalékot szállít, mint a Duna Kisalföldi szakaszán (Andó 2002). Az évente szállított mennyiség értéke Deszknél 28 000 t-ra

tehető (Bogárdi 1971). A hegyvidéki nagy esésű részeken a folyó a görgetett hordalékának nagy részét feldolgozza, így az alföldi részre főként a homok és durvahomok frakcióba eső hordalék érkezik (Csoma 1975). Görgetett hordaléka mellet jelentős mennyiségű lebegtetett hordalékot is szállít a folyó, amely elérheti a 8,3 millió t értéket is, összességében annyit, mint amennyit a Tisza szállít Tápénál (Sipos és Kiss 2003).

A 19. században lezajlott folyószabályozási munkálatok a Marost sem hagyták érintetlenül, az árvíz-mentesítési munkák nagyban átalakították a folyó futását (Kiss és Blanka 2006). A Maroson a Lippa-Szeged közötti szakasz a szabályozások előtt, bonyolult, szerteágazó, mocsarakkal átszőtt rendszer volt, zátonyosodásra, szigetképződésre hajlamos medrében számos nagy sziget alakult ki (Csoma 1975). A vízfolyás ezen szakaszán 33 átvágást végeztek, ebből a Magyarországi szakaszra 13 esik, így a Lippa-Szeged 260 km-es szakasz 172 km-re csökkent. A szabályozások hatására a nagy mennyiségű hordalékot szállító folyónak emelkedett az esése, ezáltal munkavégző képessége jelentősen megnőtt. A vízfolyáson bevágódás, illetve szélesedés (laterális erózió) indult meg, ami jelenleg szűkülésbe vált át (Sipos 2006).

A szabályozások mellett a folyón jelentős morfológiai átalakító tényező az intenzív homokkitermelés is (9. ábra). A bányászati tevékenység az 1970-es '80-as évek óta zajlik a vízfolyáson, s a 2000-es évektől az Aradi feletti szakaszon nagyon jelentős. A magyarországi szakaszon az engedélyezett éves mennyiség 100 000 m³ (Kovács Gy. szóbeli közlés), Romániában a kitermelt mennyiség 2011-ben 930 000 m³, 2012-ben pedig 500 000 m³ a terv (Apele Romane, Arad, szóbeli közlés).



9. ábra Homokkitermelés a Maroson

A Lippp és Szeged közötti folyószakaszt több morfológiai egységre lehet bontani. A Lippp-Ópálos közötti szakasz egy meanderező, szabályozott szakasz, partbiztosítással a külső íveken (11. ábra). Az Ópálostól Angyalkútig (Fantanele) meanderező, illetve kiegyenesített szakaszok váltogatják egymást, a homokkitermelés igen jelentős a területen. Angyalkúttól fejlett kanyarulatok, szabályozott szakaszok jellemzik a vízfolyást egészen Zádorlakig (Zadareni). Innentől kezdve az addigi enyhén meanderező futást felváltják a szabályozások hatására kialakult egyenes szakaszok, a területen jellemző a hordalék-lerakódás, zátonyosodás. A Pécskáig tartó szakasz után a folyót jól fejlett dinamikusán vándorló meanderek jellemzik egészen Szemlakig. Szemlaktól a határig terjedő folyószakaszt fejletlen kanyarulatok alkotják, a szakaszon jelentős zátony és szigetképződés zajlik (Sipos 2006). A határmenti részekben szintén sor került az átvágásokra, azonban a partfalak biztosítása nem valósult meg (Andó 2002). A kanyarátvágások hatására az addig meanderező folyót csaknem kiegyenesítették, majd fokozatosan fonatossá vált. A meder bevágódott, esése megnőtt, a partok rombolása azonban továbbra is folytatódik, a jelentős mennyiségű hordalék zátonyok, szigetek formájában tárolódik és mozog a mederben, egészen Apátfalváig. A Makó alatti részekben a folyót széles, s zátonyosodásra továbbra is hajlamos meder jellemzi. A torkolatig a kanyarok mérete, illetve mederszélessége egyre kisebb lesz, s zátonyosodásra egyre kevésbé lesz hajlamos. A torkolati szakasz teljes mértékben szabályozott (Kiss és Blanka 2006).

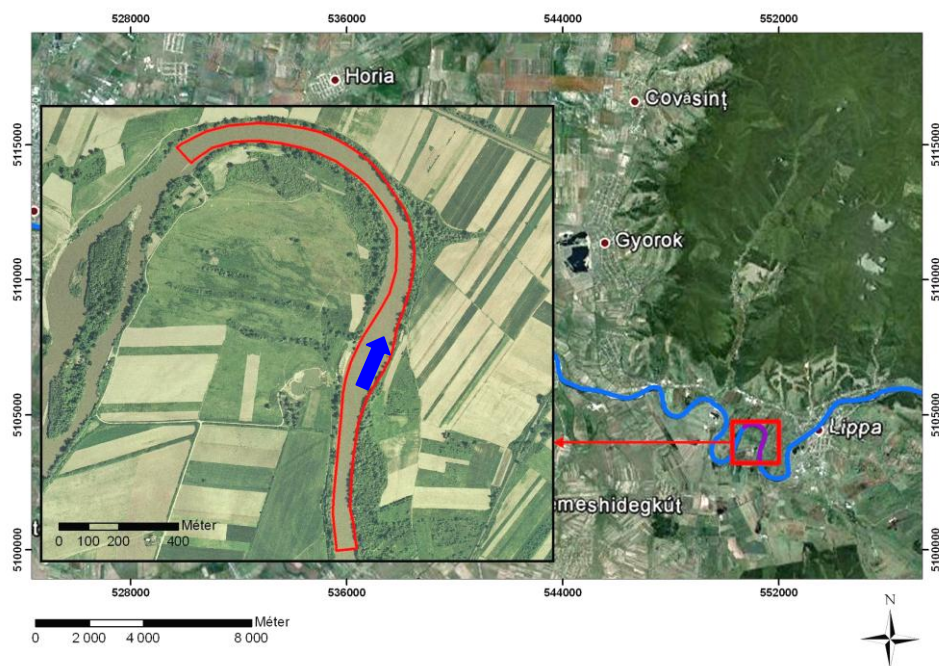
A mérési területek elhelyezkedése (10. ábra) a folyón zajló bányászathoz igazodik, az első Lippánál a homokkitermelés előtt helyezkedik el. A második Aradnál, a közvetlen bányászati tevékenység alatt, míg a Pécska és Apátfalva mintaterület, növekvő távolságra a kitermeléstől.



10. ábra Mérési területek elhelyezkedése a Maroson (folyásirány jobbról-balra)

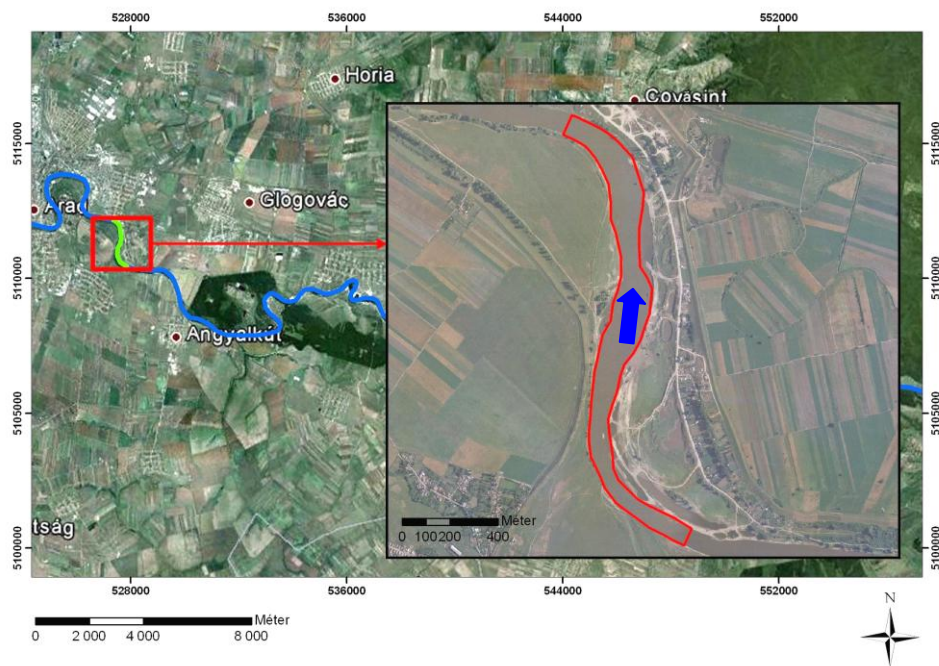
3.2 Mérési területek

A lippai mérési terület hossza 2000 m, területe nagyjából 125 000 m². A folyó ezen szakaszának legszélesebb része 110 m, míg legszűkebb 55 m (11. ábra).



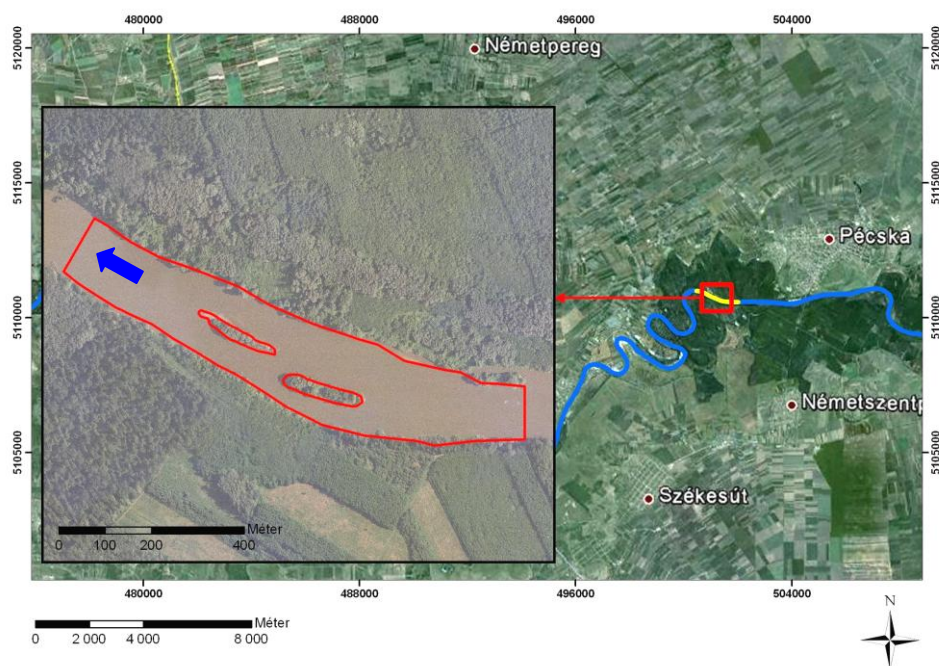
11. ábra Lippa mérési terület

Az aradi mérési terület hossza 2050 m, területe nagyjából 194 000 m². A meder legkisebb szélessége 55 m, a legnagyobb pedig 140 m (12. ábra).



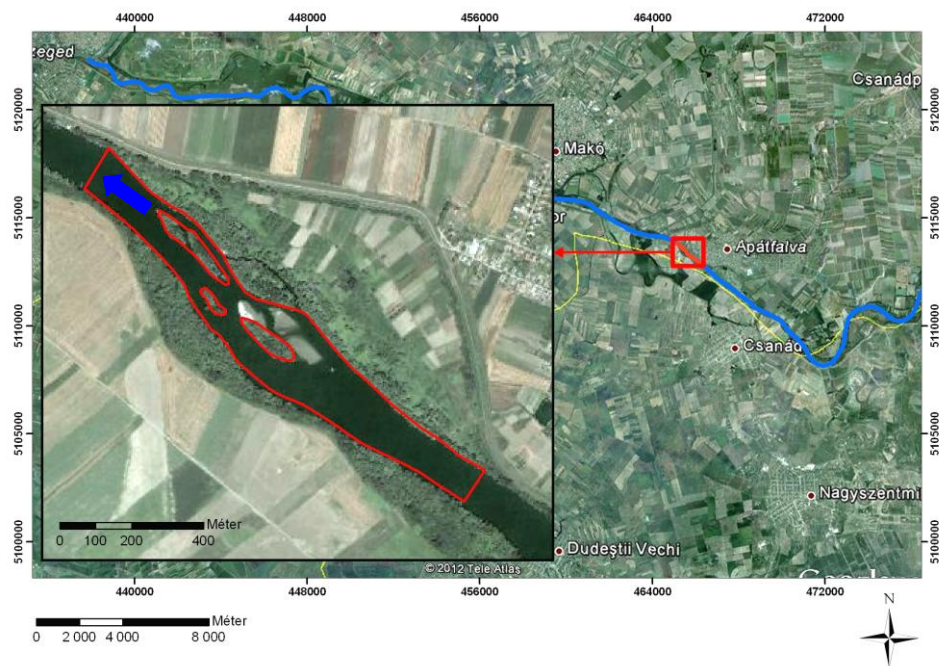
12. ábra Arad mérési terület

A pécskai mérési terület hossza 1100 m, területe nagyjából 139 700 m². A folyószakasz, legkisebb szélessége 95 m, legnagyobb pedig 190 m (13. ábra). A területen két sziget is található.



13. ábra Pécska mérési terület

Az apátfalvi mérési terület hossza 1370 m, területe nagyjából 178 050 m². Legkisebb szélessége 60 m, legnagyobb 220 m (14. ábra). A folyó ezen szakaszán 5 sziget is található.

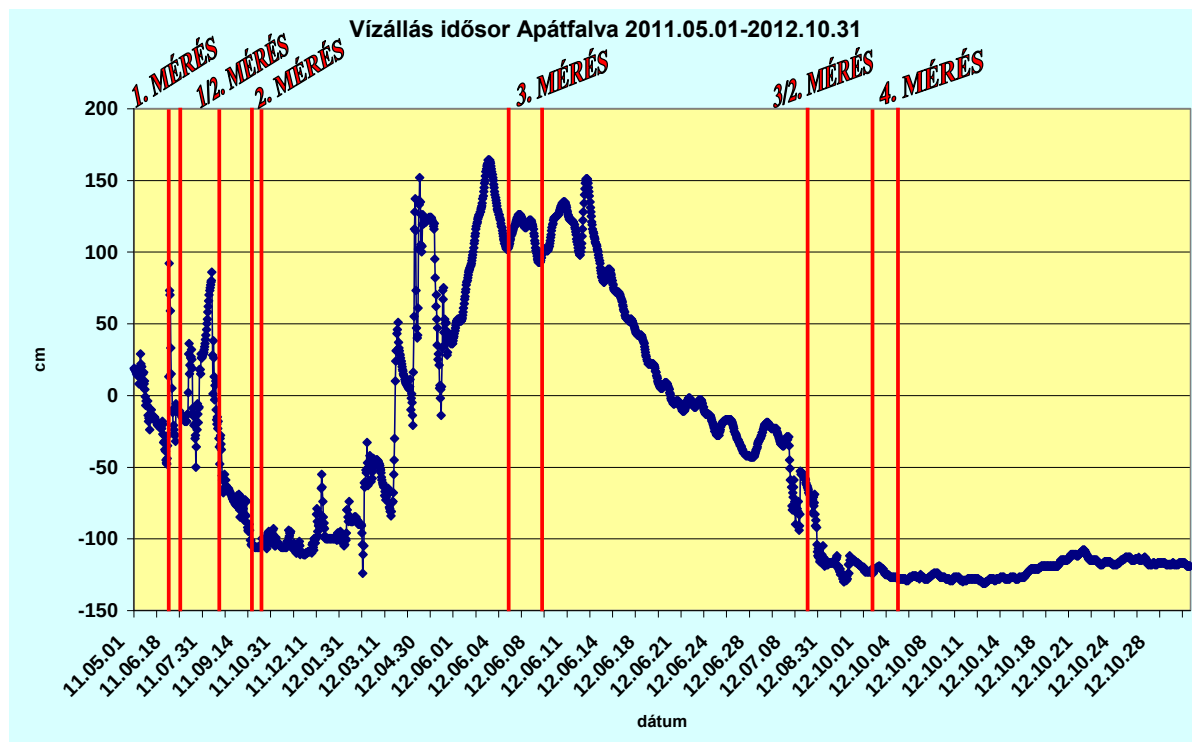


14. ábra Apátfalva mérési terület

4. Módszerek

4.1 Mérési időpontok, felhasznált műszerek

Az adat-felvételezés a négy területen több időpontban történt. A nagyvizes mérések idején a zátonyok víz alatt voltak, így nem volt szükség víz feletti szelvény felvételére, míg kisvízkor ezen részek szárazulatokká váltak, ezért a felvételezések során az egyes időpontokban más-más műszerek kerültek felhasználásra, amelyet főként az aktuális vízállás befolyásolt (3. táblázat).



15. ábra Mérési szakaszok elhelyezkedése az Apátfalvi vízmércén ábrázolva

Az 1. 2. 3. és 4. mérési kampány során minden mintaterületen történt felvételezés, továbbá Apátfalván készült további kettő, az első és a harmadik mérést követően. Az első mérés hosszabb középvizes periódust követő kisebb árhullám idején zajlott, a második mérési szakasz kisvizes időszak kezdetén, a harmadik felvételezés egymást követő árhullámok idején, míg a negyedik hosszabb kisvizes időszak idején (15. ábra).

3. táblázat Mérési időpontok, helyszínek és a felhasznált műszerek

Időpont	Helyszín	ADCP	Mérőállomás	GPS
2011.06.14	Apátfalva	X		Garmin GPS
2011.08.10	Apátfalva	X		Garmin GPS
2011.09.27	Apátfalva	X	X	Garmin GPS + Trimble Juno
2012.06.08	Apátfalva	X		Topcon RTK + Trimble Juno
2012.08.01	Apátfalva	X		Topcon RTK + Trimble Juno
2012.10.02	Apátfalva	X	X	Topcon RTK + Trimble Juno
2011.06.15	Pécska	X		Garmin GPS

2011.09.28	Pécska	X	X	Topcon RTK + Trimble Juno
2012.06.07	Pécska	X		Topcon RTK + Trimble Juno
2012.10.03	Pécska	X	X	Topcon RTK + Trimble Juno
2011.06.16	Arad	X		Garmin GPS
2011.09.29	Arad	X	X	Topcon RTK + Trimble Juno
2012.06.05	Arad	X		Topcon RTK + Trimble Juno
2012.10.04	Arad	X	X	Topcon RTK + Trimble Juno
2011.06.17	Lippa	X		Garmin GPS
2011.09.30	Lippa	X	X	Topcon RTK + Trimble Juno
2012.06.06	Lippa	X		Topcon RTK + Trimble Juno
2012.10.05	Lippa	X	X	Topcon RTK + Trimble Juno

Az első felmérési blokkban a GPS műszer egy kézi Garmin GPS volt, ennek segítségével lett vízszintes koordinátpár rendelve az ADCP-s mélységpontokhoz. A további méréseknél már Topcon RTK-val történt a koordinátamérés, ugyanis az RTK pontosabb adatokat szolgáltat vízszintes értelemben, illetve tartozik hozzá egy megfelelő pontosságú magassági adat is. Segítségével így meghatározható a vízfelszín tengerszint, illetve ellipszoid feletti magassága.

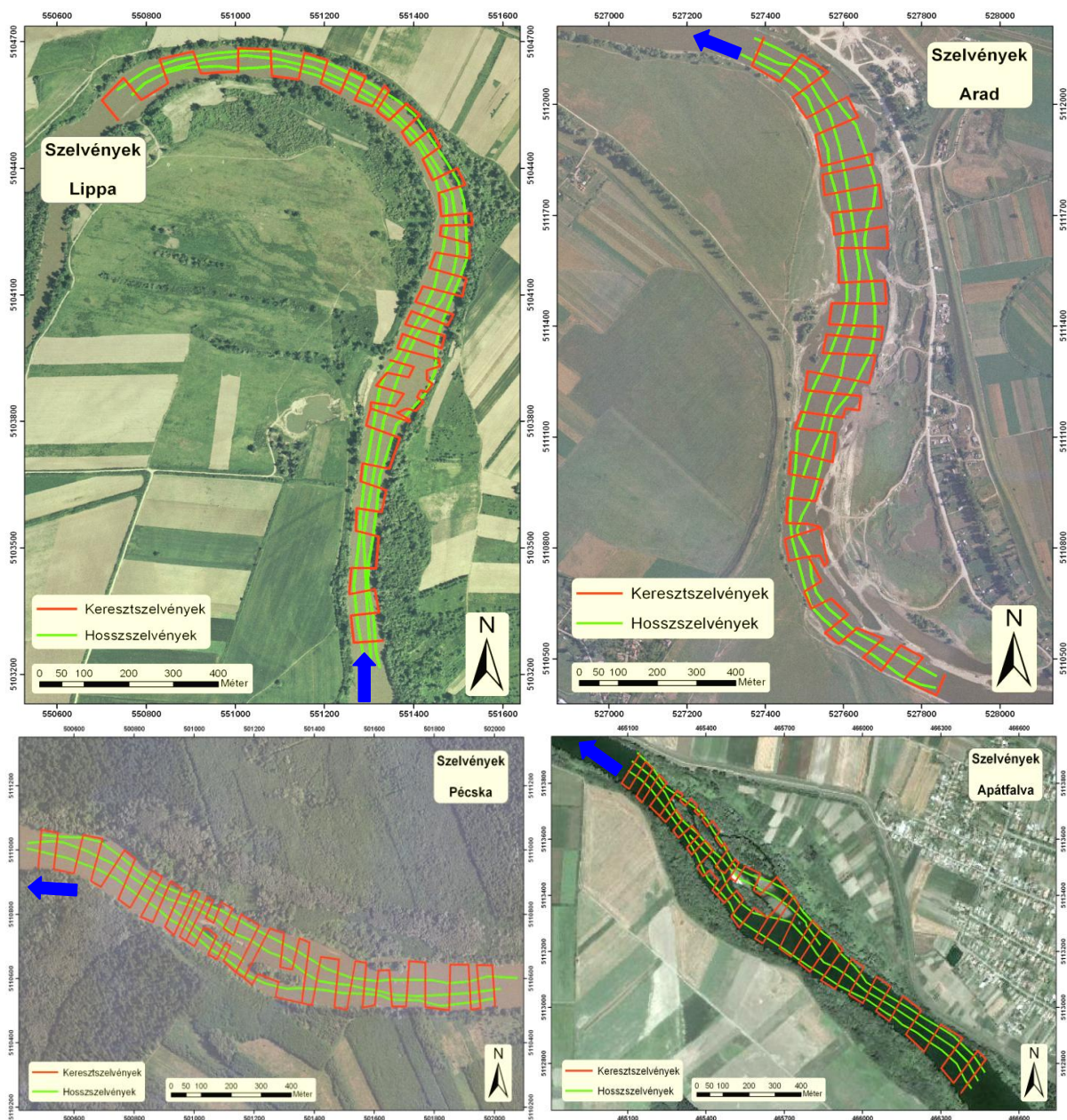
4.2 Mintaterületek szelvényei

Minden mérési területen úgy jelöltük ki az első mérés kereszt-szelvényeit, hogy lehetőleg a folyó szélességének felénél ne legyenek nagyobb távolságra egymástól, illetve illeszkedjenek a terület morfológiai felépítéséhez. **A kereszt-szelvények átlagos távolsága 40 m.** A további felmérések során mindig az első felmérés szelvényeit használtuk fel (16. ábra). Így mindig ugyanazok a **kereszt- és hossz-szelvények lettek felvételezve** mind a víz feletti, mind pedig a víz alatti területeken.

A **szelvények követése**, helyzetük meghatározása Trimble Juno GPS segítségével történt minden esetben. Az első mérések során felvett nyomvonalak feltöltésre kerültek a műszerre, s ezek **követésével valósult meg** az összes többi felmérés. A műszer névleges **pontossága 2-5 méter.**



A Trimble Juno SB egy térinformatikai GPS vevő. Az érintőképernyővel, 533 MHz-es processzorral ellátott készüléken egy Windows Mobile rendszer biztosítja a programok futását. A készülékre különböző térinformatikai programokat lehet telepíteni, mint például az ArcPad 10 program. A szoftverben meg lehet nyitni különböző shape fájlokat, így beimportálhatóak az egyes mérések szelvényei. (<http://www.trimble.com/junosb.shtml>, Tobak és Juhász)



16. ábra Kereszt- és hossz-szelvények elhelyezkedése a mintaterületeken

4.3 Mérés menete

Víz alatti szelvények felmérése **ADCP Rio Grande** műszert felhasználva történt (17. ábra). A műszert a mérés elején kalibrálni kell, fontos hogy függőleges állapotban legyen a felvételezés során. A függőlegestől való eltérést a hajó keresztirányában billentésnek, hosszirányában bólintásnak nevezzük. Az eltérés mértéke nem haladhatja meg a 3° -ot (Goda és Krikovszky 2002).



Az ADCP műszer négy, szimmetrikusan elhelyezett transzducerrel (jelsugárzó és fogadó fej) rendelkezik, melyeknek sugárzási tengelye a függőlegessel 20° -ot zár be. A térbeli sebesség számításához elegendő lenne három sugár, a negyedik redundáns adatból határozza meg a műszer a pont megbízhatóságát. Ha túl nagy az eltérés az, vagy hibára utal, vagy arra, hogy a jeladók által belátott területen belül a sebesség nem homogén. Amennyiben a számított különbség egy előre adott küszöbértéket meghalad, akkor az adott mérést a program elveti. A folyóvízben a kibocsátott hangot a vízben lebegő hordalékrészecskék verik vissza. Így a műszer nem használható teljesen tiszta vízben. (Goda és Krikovszky 2002, RD Instruments 1996).

A mérés megkezdése előtt a Topcon RTK Bázis-antennáját kell telepíteni (18/B ábra), a műszert a mérési terület felénél helyeztük el, így biztosítottuk a teljes mintaterület beláthatóságát. A Bázis-antenna pontos koordinátáit, a Rover antenna segítségével adtuk meg GNSSNet korrekcióval. A Bázis-antennát elindítva, a továbbiakban a Rover-antenna innen kapta a korrigált adatokat, s így megbízható pontosságú lett a felmérés.



A Topcon Hyper Pro egy geodéziai GNSS vevő. A GNSS a Global Navigation Satellite System azaz Globális Navigációs Műhold Rendszer, amely közé tartoznak az amerikai GPS műholdak, az orosz GLONASS műholdak. Mindkettő vételére alkalmas. Működési rendszerét tekintve egy RTK azaz Real Time Kinematik GPS (Valós idejű kinematikus) jelenleg legmegbízhatóbb, leggyorsabb mérési módszert teszi lehetővé centiméteres pontossággal. A vevő 3 részből áll, egy Bázis GPS-ből amelyet fix pontra kell felállítani, a Rover GPS-ből, amellyel felmérhetjük a kívánt pontokat és egy kezelő egységből. A méréseket idején a korrekciót a FÖMI által üzemeltetett GNSSNet szolgáltatás alapján végezzük el. A korrekciós adatok vétele mobiltelefon segítségével

valósul meg. Az adatokat a Bázisnak megadva, folyamatos bázis korrekciót kapunk a mért pontjainkra, ami csökkenti a mérés költségeit. (<http://www.topcon.com.sg/survey/hiperpro.html>)

A Topcon Rover-antennáját az ADCP műszerrel egy rúdra helyeztük (18/A. ábra), a két műszer ugyanazon pontokat mérte horizontális értelemben, de más magasságokon. Ahhoz hogy magassági értelemben megfelelő értékeket kapjunk a Topconnak meg kellett adni a rúd hosszát, s így a vízfelszín pontos magasságát fogja tárolni.



17. ábra ADCP Rio Grande műszer

Emellett az ADCP műszernek meg kellett adni a merülés mértékét, ugyanis ez az érték hozzáadódik a mért mélység adatokhoz. A Rover antenna másodpercenként küldi az NMEA kódot az aktuális pozícióról és magassági értékről. A két műszerből származó adatok szinkronizálását, illetve azok fájlba mentését a Winriver program végzi valós időben. A szoftver egyben a nyers adatokat elsődleges feldolgozására is szolgál. **Az ADCP átlagosan 1,5 méterenként szolgáltatott adatot** a mederről a Maroson, az adott mozgási sebesség mellett.



18. ábra Topcon Rover és Bázis adatfelvételkor

Nagyvizes felméréskor az összes szelvény ADCP-vel lett felmérve, míg kisvizes időszakokban csak az 50 cm-nél nagyobb vízmélységgel borított területek, ugyanis a műszer eddig a mélységig használható mélységmérésre.

Kisvízkor a **víz felett lévő mederformák** felmérése **Sokkia Set 650rx** mérőállomás segítségével történt, szintén Topcon-os kísérettel.



A Sokkia Set 650rx műszere, a vízszintes és magassági szögmérést, a távolságmérést elektronikusan végzi. A mérések során a műszert egy ismert álláspontra kell helyezni, majd tájékozni egy ismert iránypontra. Adatfelvételkor a pontok meghatározása prizmával történik, a műszer a prizmáról visszaérkező jelek idejéből számolja a pont távolságát, míg a megelőző ponthoz képest, a műszer vertikális és horizontális elfordulásából a vízszintes illetve magassági szögeket. A műszer rendelkezik lézeres technikával is, ezáltal olyan helyeket is fel lehet mérni, amelyeket nem lehet prizmával megközelíteni. A műszer távmérési pontossága eléri a 2-3 mm-t, prizmára akár több ezer méterre is lehet mérni (kb. 5000 m), míg a lézeres mérésnél 400 m-ig. (<http://ebookbrowse.com/sokkia-set-650rx-pdf-d218481445>).

A mérőállomás álláspontja, illetve az irányzópont a Topcon Rover műszerével lett meghatározva GNSS korrekció mellett, így az adatok pontossága átlag 2 cm. A felmérés egy

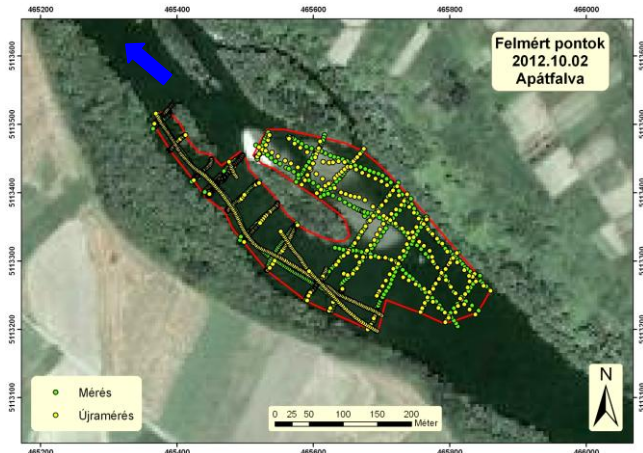
prizma segítségével történt. A felvételezések során átlagosan **5 méterenként rögzítettünk pontokat** (19. ábra).



19. ábra Adatfelvételezés mérőállomással

4.4 A felmérések relatív hibájának becslése

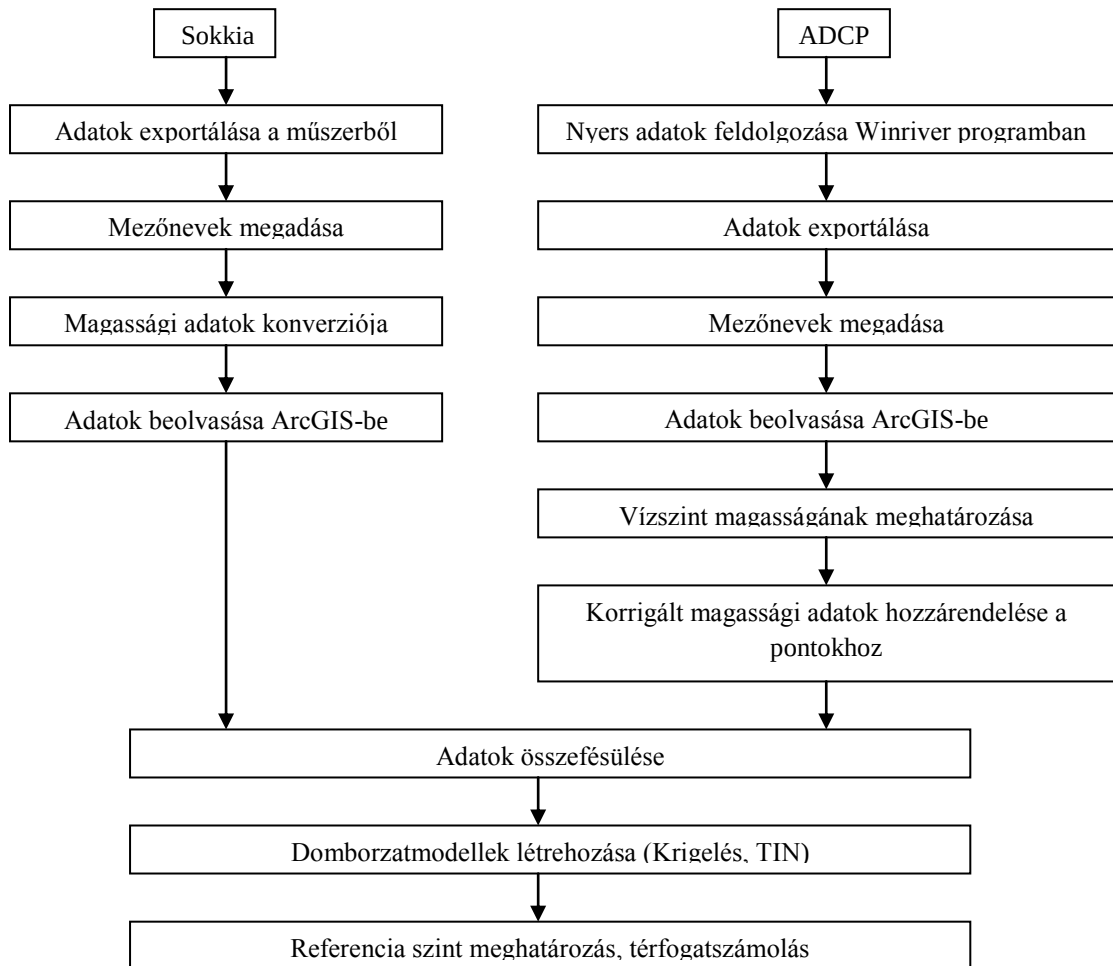
A felmérések során, a szelvények nem teljesen pontos követéséből (2-5 méteres pontosság), illetve a felvett pontok eltérő sűrűségéből, továbbá a domborzatmodellezésből is származhatnak hibák. A lehetséges összes hiba mértékének meghatározására, a 4. felmérés során az Apátfalvi mintaterület egy reprezentatív szakaszán egymás után, kétszer lettek felvételezve a szelvények pontjai (20. ábra). A felmért szakasz hossza 520 m, területe 68 000 m². Az adatfelvétel kisvizes időszakban történt, minimális a mederváltozás az időpontok között és ADCP-s, illetve mérőállomásos szelvények is vannak a vizsgált szakaszon. Az újramérés során új bázis illetve mérőállomás alappont lett kijelölve a felvételezés végrehajtásához, ezzel is szimulálva a különböző felmérések közötti különbséget.



20. ábra Apátfalva hibavizsgálat kétszeri méréssel

4.5 Feldolgozás menete

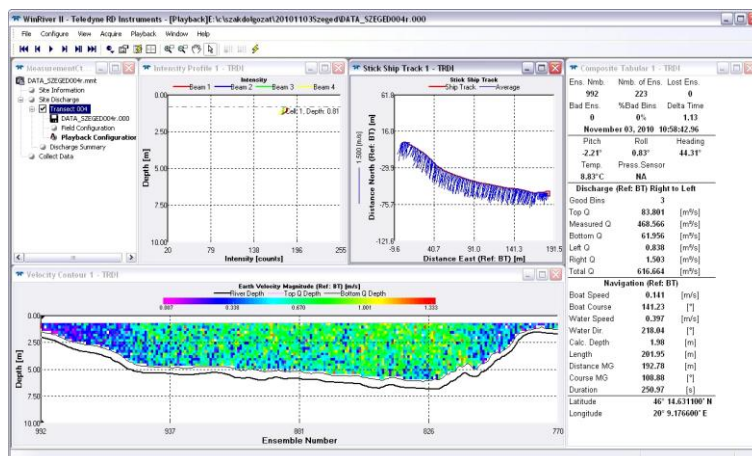
Az adatfeldolgozás több lépésből állt (21. ábra), minden műszer esetén az első lépés a nyers adatok kiexportálása volt. A második lépés az adatok átalakítása térinformatikai programokban való feldolgozásra, illetve a magassági értékek meghatározása az interpoláció végrehajtására. Az így létrejött értékek alapján készültek el a domborzatmodellek.



21. ábra Az adatfeldolgozás menete

4.4.1 ADCP adatok feldolgozása

Az ADCP-vel mért nyers adatok feldolgozása a műszerhez tartozó Winriver program segítségével történt meg. (22. ábra). A programban lehetőség van a mért adatok megjelenítésére, illetve az exportálásukra.



22. ábra A WinRiver program

Az adatok ASCII fájlformátumba lettek kiexportálva. Jelen mérés esetében 4 adat kiexportálására került sor: idő, földrajzi szélesség és hosszúság, mélység.

A térinformatikai feldolgozás ArcGIS 9.3 programban készült el. A pontokat tartalmazó adattábla beolvasása az Add X,Y Data paranccsal történt. Az összes mérési időpont egységesen át lett transzformálva méter alapú vetületi rendszerbe, amely jelen feldolgozásban az UTM (Universal Transverse Mercator), WGS84 ellipszoiddal.

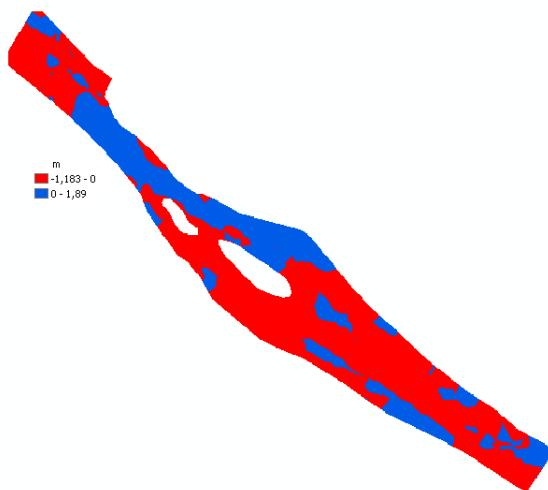
Az abszolút magassági adatok megadásához szükség volt a Topcon RTK által mért vízfelszín magasságokra, hiszen az ADCP-ből csak relatív mélység adat nyerhető ki. A magassági értékek Apátfalván Balti feletti, míg a romániai mérések (Pécska, Arad, Lippa) esetében WGS84 ellipszoid feletti magasságban lettek megadva. A vízszintmagasságok a 2012. júniusi mérés során lettek meghatározva az összes mintaterületen, mert a teljes területre van magassági adat az RTK-ből. A feldolgozás során a keresztshelvények, minden egyes mérési helyszínen egyedi azonosítóval lettek ellátva (23/A. ábra), majd a szelvényben található pontokból átlagmagasság lett meghatározva.

Minden egyes szelvénynek megvan a pontos felvételezési ideje, amelyhez társítható az aktuális vízállás. A vízállás változások meghatározásával átszámolhatóak a magasságok a 2012. júniusi mérésből a többi mérés idejére. 3 mérési területen, Apátfalvánál, Aradnál és Lippánál van a közvetlen közelben vízmérce, így ott közvetlenül használhatóak a vízállás adatok. A pécskai területen vízmérce hiányában a vízállás és változása, az aradi és a nagylaki vízmérce segítségével, az esés figyelembe vételével lett meghatározva. A meghatározott vízmagasság és a mélységadatok (riverdepth) alapján számolható a meder abszolút magassága.

Az egyes mintaterületeken szerkesztett különböző domborzatmodellek a felmért pontok alapján nem egyforma területűek, így közvetlen összehasonlításra nem használhatók fel. A közös területek alapján egy polygon készült, amellyel elmetszve az összes modellt, immár azonos lett a területi kiterjedésük. Az ArcGIS-ben az Extract by Mask parancs végzi ezt el.

A kész domborzatmodellekből térfogatértékek lettek meghatározva, amely a Surface Volume paranccsal valósítható meg. Meg kell adni, mely magasságtól számoljon a program térfogat adatot. Az egyes területeken a következő referencia szintektől lettek a térfogatértékek meghatározva: Lipppa: 159,3 m, Arad: 141,28 m, Pécska: 135,73 m, míg Apátfalva: 77,65 m. A referencia szint az összes modell legkisebb felvett magassági értékének átlaga alapján lett meghatározva. Az eredményeket m^3 -ben szolgáltatja a program, és a nettó változást mutatja meg, amely a tényleges hordalékegyenleg változást mutatja meg két időpont között.

Az egyes modellek kivonása a Raster Calculator segítségével történt. A kapott modell alapján a 0 magasság feletti térszíneken hordaléktöbblet, míg a negatív térszíneken hordalékveszteség van a korábbi domborzatmodellhez képest (24. ábra). Az akkumulációs és eróziós térfogatértékek együttesen megadják az időpontok közötti abszolút hordalékegyenleg változásokat, mely a teljes átmozgatott adatmennyiséget jelöli.



24. ábra Példa a hordalékmenyiség abszolút mértékének vizsgálatára Apátfalvánál (piros: erózió, kék: akkumuláció)

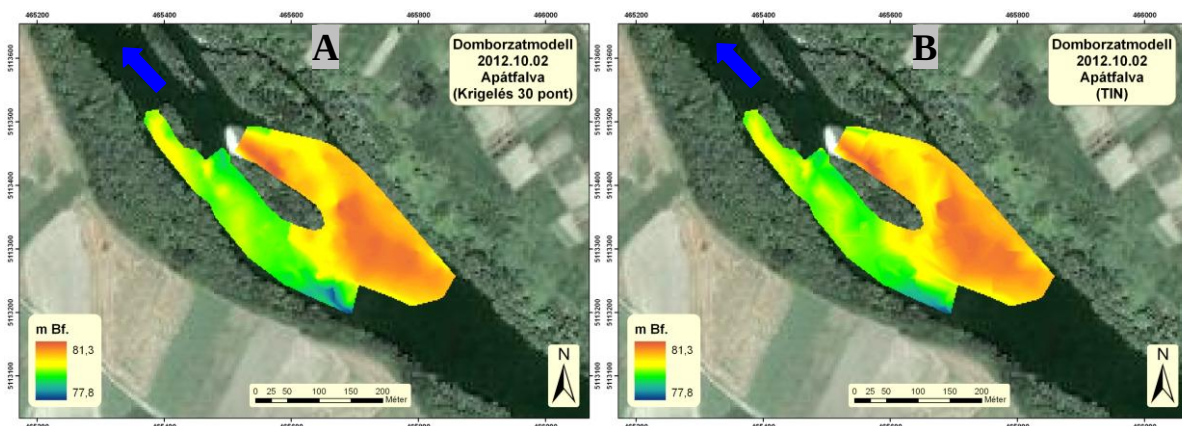
Az egyes mérési szakaszok keresztzelvényeinek átlagmagasság-meghatározásával vizsgálva lett a meder változékonyságának a mértéke. Az átlagmagasságok, és az adatok szórásának ábrázolása diagrammok segítségével valósult meg.

5. Eredmények

5.1 Felmérésből, domborzatmodellezésből adódó hiba meghatározása

5.1.1 Felmérésből származó hiba mértéke

A kétszeri felmérés során felvételezett pontokból, több interpolációs eljárással készültek domborzatmodellek az eltérések mértékének, ezáltal a mérési és kiértékelési hiba meghatározásához. A modellek többfajta krigeléses interpolációval: 5, 10, 30 és 60 környező pont figyelembe vételével, illetve TIN modell (25. ábra) segítségével lettek elkészítve.



25. ábra Krigelés (A) és TIN (B) domborzatmodell a hibavizsgálat során

Az elkészült domborzatmodellekből az Apátfalvi mintaterületen alkalmazott referencia szintet (77,65 m Bf.) alapul véve kerültek meghatározásra a térfogatértékek, az első és a második mérés pontjaiból is (4. táblázat).

4. táblázat Hibavizsgálat térfogatértékei, Apátfalva

	Mérés térfogat (m ³)	Újramérés térfogat (m ³)	Térfogateltérés (m ³)
Krigelés 5 pont	165300	164600	700
Krigelés 10 pont	165200	164400	800
Krigelés 30 pont	164800	164300	500
Krigelés 60 pont	165100	164500	600
TIN	164900	163500	1400

A térfogatértékek eltéréséből jól látszik, hogy bizonyos hibával számolni kell a felmérésekből adódóan, az egyes vizsgálatok során. A legkisebb eltérés a 30 pontos krigelésnél van, így az összes mintaterületen ezzel a krigeléses interpolációval lettek a domborzatmodellek létrehozva. Az is jól megfigyelhető, hogy jelentős eltérés mutatkozik meg a TIN és krigeléses interpoláció között, a TIN modellel tapasztalt hiba mértéke akár háromszoros is lehet.

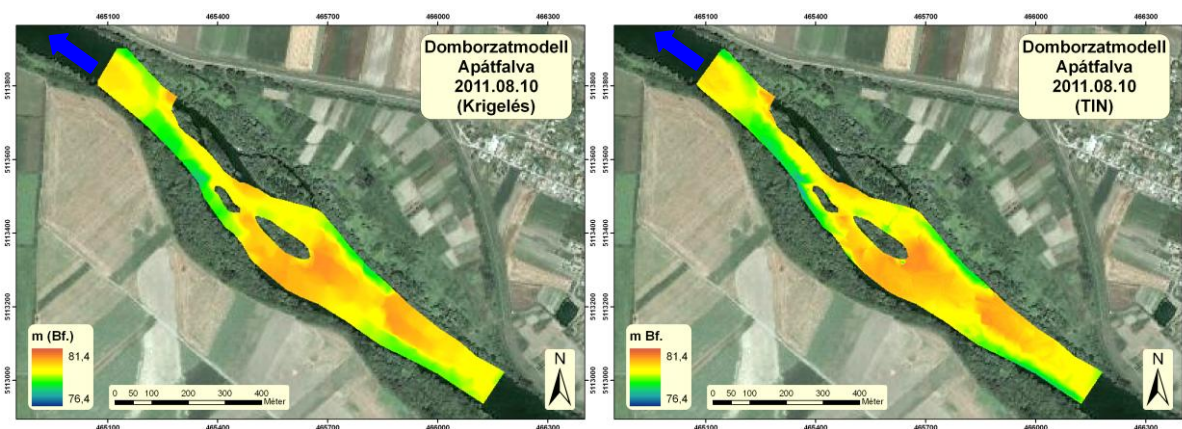
A kapott értékek azonban csak a felmért területre vonatkoznak, az adatokat így normalizáltam 1 km hosszra, amellyel jobban megadható a későbbiekben **az eltérés mértéke: 1 kilométeres szakaszon a 30 pontos krigelés során 1000 m³/fkm-re tehető, míg a TIN**

modellel ez az érték $2700 \text{ m}^3/\text{fkm}$. Azaz minimum ekkora hibával kell számolni az egyes felmérések esetén. Az eltérés adódik a nem pontos szelvénykövetésből és a változó pontsűrűséből. Ugyanakkor valószínűsíthető, hogy nagyvizes felméréskor valamivel kisebb hibák jelentkezhetnek, mert a szelvényeket könnyebb követni.

5.1.2 A modellezésből adódó különbségek

A felvételezett pontokból minden területen és mérési időpontban, krigeléses interpolációval és TIN modell alapján is készültek domborzatmodellek. Így összehasonlíthatóak voltak a torzításos és torzításmentes interpolációval készült medertérképek és a hozzájuk tartozó térfogatértékek.

A TIN modell esetében megmaradnak az adatok magasságértékei a mért pontokban, átlagolás csak közöttük történik, míg krigelés során csak közelítő értéket vesznek fel az eredeti értékek helyén is, ami a súlyozott átlagszámítás végett történik. A gyakorlatban ez annyit tesz, hogy a krigelés során kiegyenlítettebb képet fogunk kapni a felszínről, eltűnnek a kisebb mélyedések, és kiugró magaslatok, míg a TIN modellnél ezek érzékelhetően megjelennek. A két modell eltéréseinek bemutatására az apátfalvi mintaterület 1/2. mérését használtam fel. (26. ábra)



26. ábra apátfalvi mintaterület krigeléses és TIN medermodellje a második felméréskor

A két modellen több különbség is tapasztalható az interpoláció végeredményében, a TIN modellen a terület középső szakaszán több kisebb mélyedés is található, amelyek a krigeléses interpoláció során nem jelennek meg. A mintaterület felső szakaszán a balparti oldalzatonyba benyúló mélyedés tapasztalható a TIN modellen, amit a krigelés szintén elsimít. Míg a terület alsó szakaszán található mélyebb terület, markánsabban jelenik meg, nagyobb medermélységi értékekkel a TIN interpolációban, ellentétben a krigeléssel.

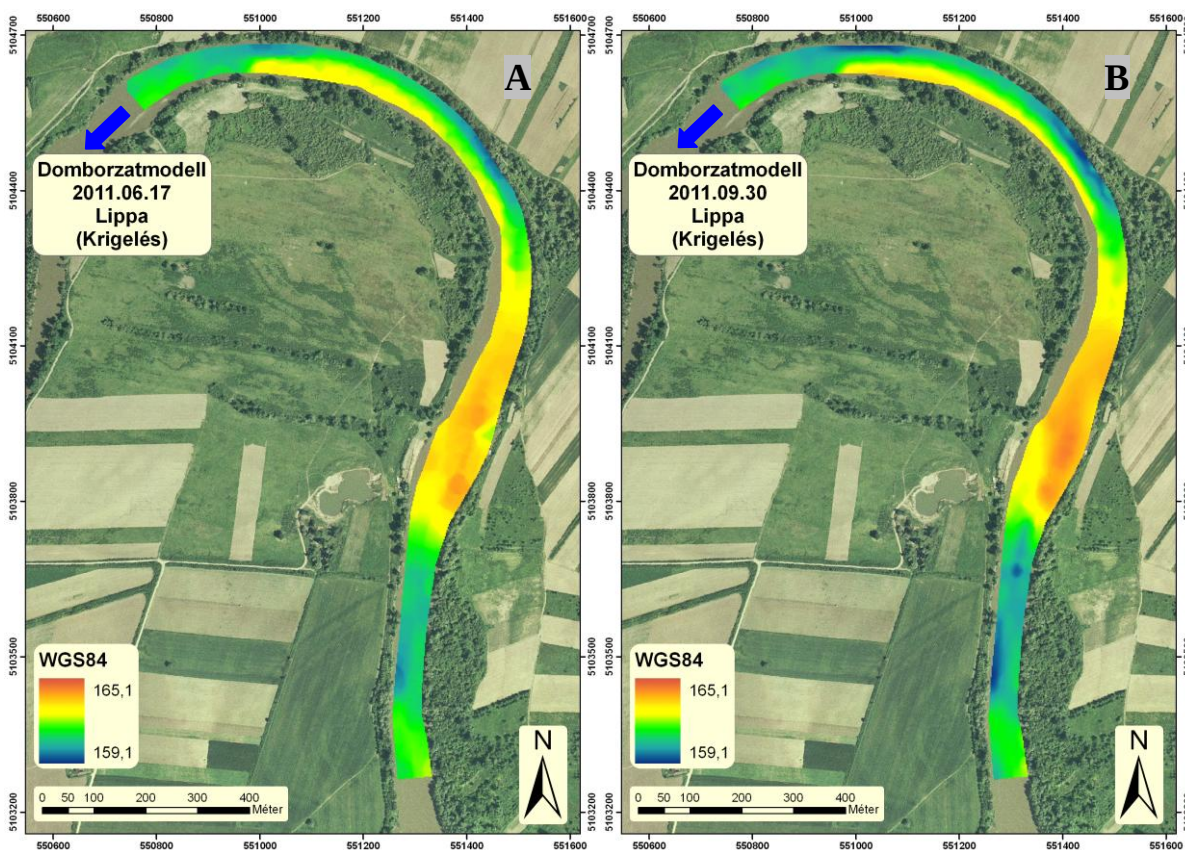
A továbbiakban terjedelmi okok miatt csak egy interpolációs technikával készült modell kerül bemutatásra (krigelés) az egyes területekről és időpontokról. A két módszer

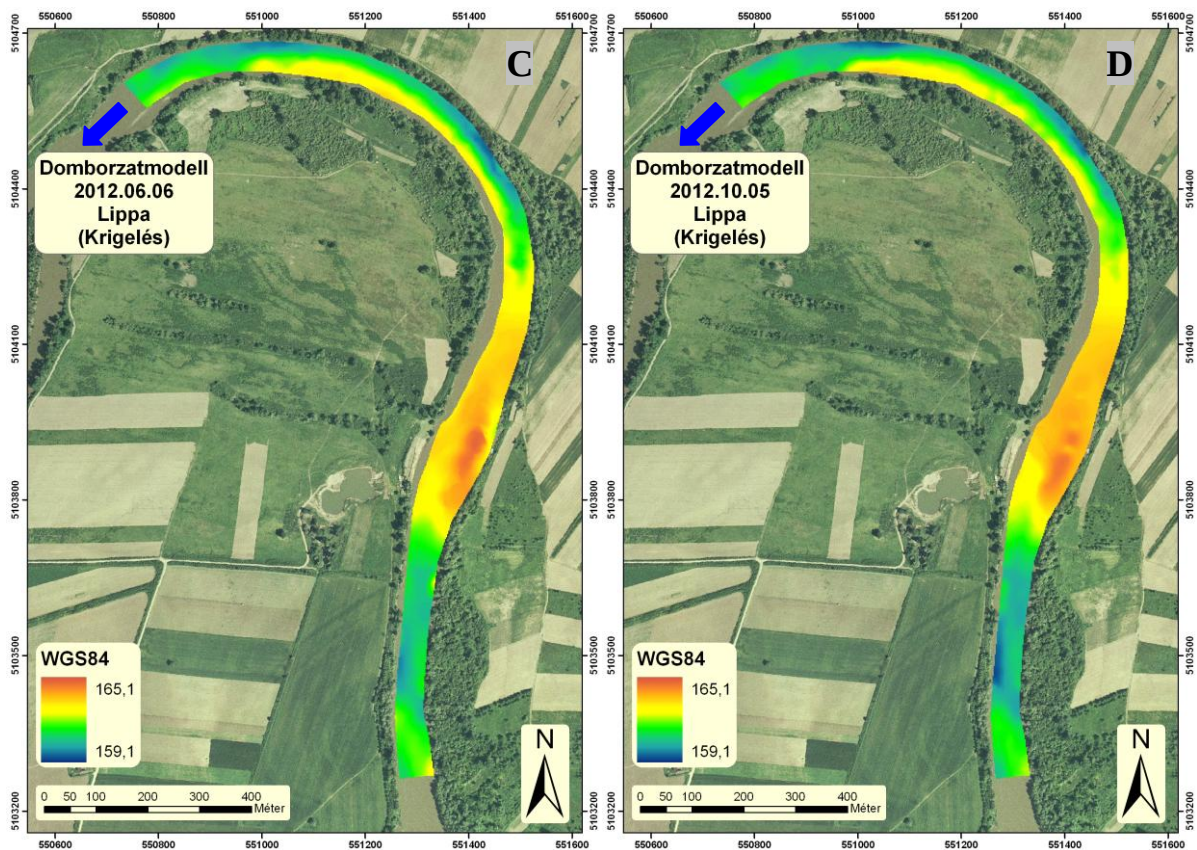
között lehetnek eltérések, a térfogat értékeknél, amelyek főként a pontsűrűségből adódnak. **A krigelés és TIN modell közötti térfogatértékek átlagos eltérése 4800 m³-re tehető.**

5.2 A lippai felmérések eredményei

A felmérések alapján **a lippai mintaterület** morfológiai szempontból stabilnak tekinthető (27. ábra). A felső szakasza viszonylag szűk egyenes, zátonyosodásra kevésbé hajlamos. Középső része kiszélesedő, egy nagyobb kiterjedésű mederközepi zátony osztja meg a folyó sodorvonalát. A sodorvonal a bal part mentén fut, a zátony bal oldalán. A mintaterület alsó része egy kanyarból áll, a kanyarulat külső ívén a mélység adatok alapján is jól kirajzolódik a sodorvonal. A kanyarulat belső ívén egy övzátony húzódik, amelyet a folyamatos átalakulás jellemez.

A felmért szakaszon a vízszint esése 40 cm, a felmért terület átlagos szélessége 63 m. A terület átlagos mélysége kisvízkor 2,3 m, nagyvízkor 3,3 m, legnagyobb mért mélység 6,3 m. A hordalék összetétele kavics és homok.





27. ábra A Maros medrének domborzata a lippai mintaterületen az
1.(A) 2. (B) 3.(C) és 4. (D) mérés időpontjában

Az első nagyvizes mérési időponthoz viszonyítva (27/A. ábra), több kisebb változás is történt a mederben a kisvizes mérés idejére (27/B. ábra). A terület közepén található **mederközepi zátony folyásirányban felfelé eső részét 80 m-es terjedelemben elhordta** a folyó, maximális **magassága ugyanakkor 30 cm-rel nőtt**. A kanyarban található **övezátony egységesebbé vált, szélessége azonban csökkent**. A felmérési szakasz felső és alsó részén is **60 cm-rel nagyobb mélységek tapasztalhatóak a sodorvonal mentén**.

A második és a harmadik mérés között, az **övezátony ismét kiszélesedett**, amely a nagyobb vízálláshoz tartozó hordaléktöbblet hatása (27/C. ábra). A **sodorvonalban újra megemelkedett a meder magassága** az első felméréskor tapasztalt szintekre. A mederközepi zátony felső részén feltöltődött a korábbi mélyedés, míg a **magassága a forma közepén további 40 cm-t nőtt**, azonban a partjait a folyó a megnövekedett energiája által elkezdte megbontani és mélyíteni. A **negyedik mérés idejére (27/D ábra) jelentős morfológiai változások nem jellemezték a területet**, a szakasz felső részén a sodorvonal kisebb mélyülése tapasztalható, míg a terület közepén található mederközepi zátony felső részén kisebb mértékű bevágódás található. A **terület morfológiai felépítése összességében**

stabilnak tekinthető, nagyobb változások nem jellemzik a területet, ugyanazon formák figyelhetők meg mindvégig.

5. táblázat A lippai mederszakasz referencia szint feletti
térfogatai a különböző felmérési időpontokban

	2011.06.17	2011.09.30	2012.06.06	2012.10.03
Medertérfogát - Krigelés (m ³)	328900	308800	335700	327800
Medertérfogát - TIN (m ³)	335800	312000	338950	329500
Eltérés (%)	3	2	1	1

6. táblázat Mederváltozások és a hordalékegyenleg változása a lippai mintaterületen

Medertérfogát változások Krigelés (m ³)	2011.06.17 - 2011.09.30	2011.09.30- 2012.06.06	2012.06.06- 2012.10.05
Akkumuláció (m ³)	9700	31600	10500
Erózió (m ³)	-28200	-5200	-16600
Nettó változás (m ³)	-18500	26400	-6100
Abszolút változás (m ³)	37900	36800	27100
Medermagasság változás (m)	-0,16	0,21	-0,05

A 5. táblázatban összefoglalóan megtalálhatóak a mederanyag térfogatának változásai. Az első és a második mérés között 20000 m³ veszteség mutatkozik a hordalékegyenlegben. Ez valószínűleg a sodorvonal mentén tapasztalható kimélyülésnek tudható be, amelynek értéke jóval meghaladja a mederközepi zátonyon akkumulálódott anyag mennyiségét. A harmadik mérés időpontjáig azonban a sodorban történő medermagasság növekedésének, illetve az övzátony újbóli kiszélesedésének hatására már az akkumuláció kerül túlsúlyba, melynek értéke 26 000 m³. A harmadik és negyedik felvételezés közötti időszakban jelentős mennyiségű változás nem tapasztalható a területen, kisebb mértékű fogyás mutatkozik csak a szakaszon.

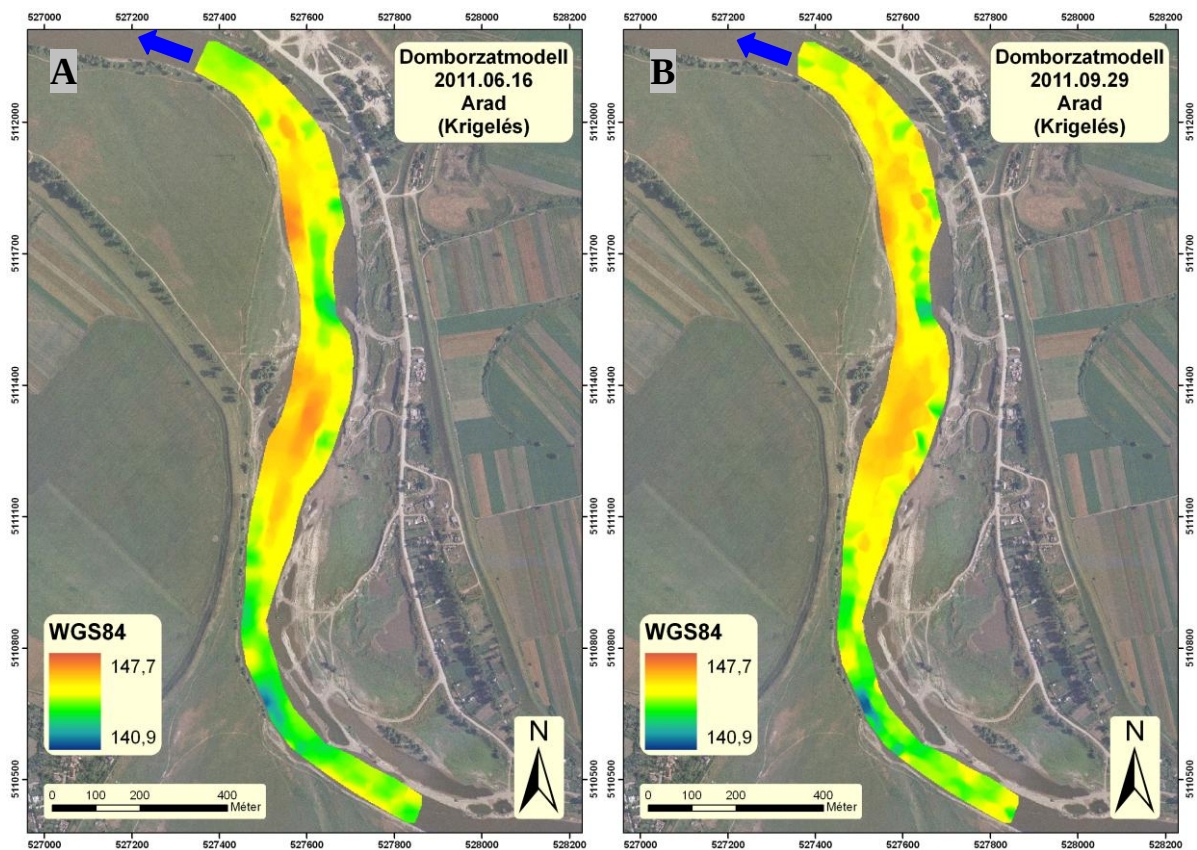
A medertérfogatok változását vizsgálva megállapítható, hogy minden mérés között az észlelt abszolút mennyiségű változás értéke minimális értéke 30 000 m³ körülre tehető (6. táblázat). Azonban a mérések között jelentős különbség van az akkumuláció és erózió mértékének megoszlásában.

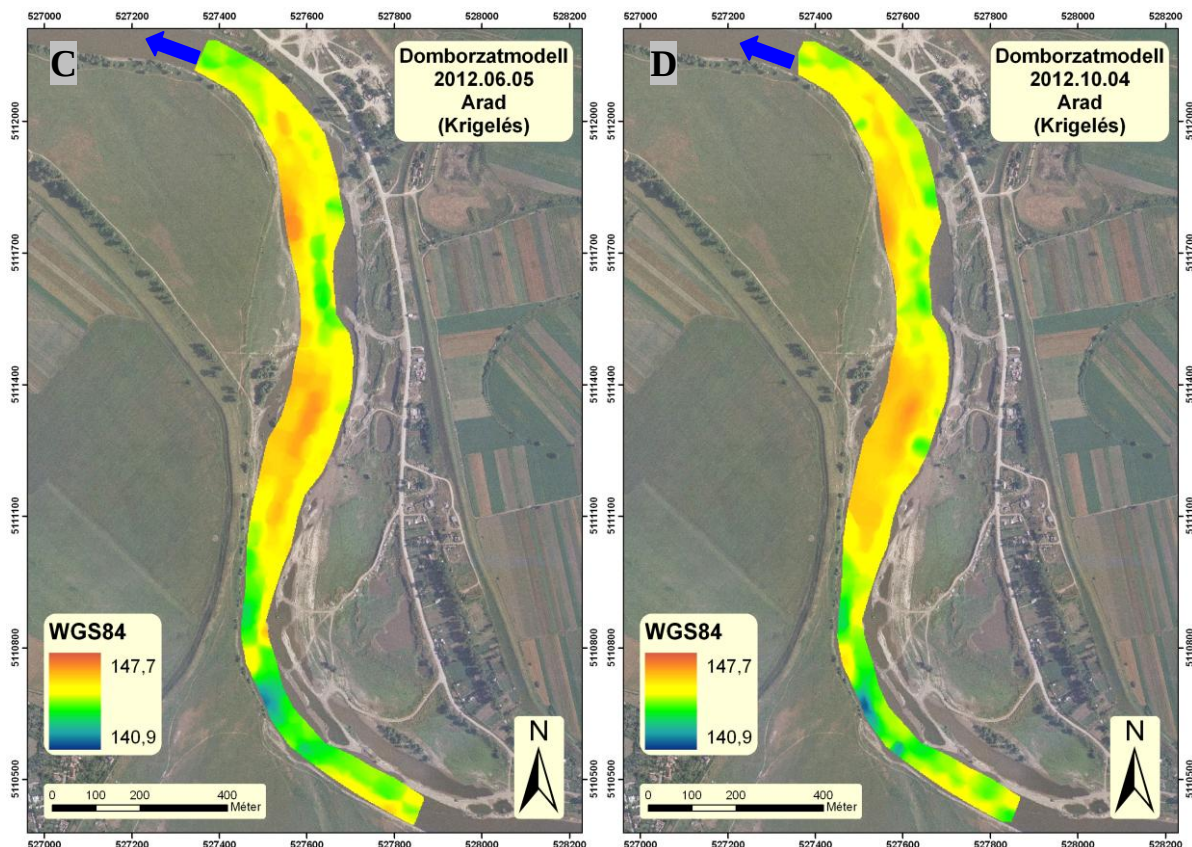
5.3 Az aradi felmérések eredményei

A mérési terület felső szakaszát kisebb bevágódások jellemzik, jelentős változások nincsenek az adott területen (28. ábra). A középső és az alsó szakaszon mederközepi zátonyok figyelhetők meg, amely kettéválasztja a folyót. Emellett a mintaterület alsó szakaszán a bal parthoz kapcsolódva egy jelentősebb oldalzátony rajzolódik ki. A jobb

parthoz közel számos kisebb kiterjedésű, **bányászati tevékenységre utaló mélyedés** figyelhető meg, amelyek jól kirajzolódnak az egyes modelleken. Ezeken a helyeken hirtelen akár méteres különbségek is lehetnek a meder mélységében.

A mintaterület vízszint esése a teljes szakaszon 40 cm-re tehető, a felmért terület átlagos szélessége 95 m. A medertalp összetételét tekintve agyag és aprókavics. A szakasz átlagos medermélysége kisvízkor 1,4 m, míg nagyvízkor 2,9 m. A területen mért legnagyobb medermélység 7,1 m.





28. ábra A Maros medrének domborzata az aradi mintaterületen az 1 (A). 2. (B) 3. (C) és 4. (D) mérés időpontjában

Az aradi szelvényben a **felső szakaszon jelentős változások nem tapasztalhatóak**, a vizsgálat időszakban a nagyobb **zátonyformák kiterjedésében** (28/A. ábra). A szakaszon található **mélyedés tekintetében a második mérés** (28/B ábra) idejére **kisebb mélyülés** tapasztalható, amely a harmadik (28/C. ábra) mérés idejére **ismét felöltődik**. A mintaterületen jelentősebb változások a **mederközepi zátony** környezetében találhatóak. Az első és második mérés között, a **jobb part mentén felöltésre került több mélyedés** is, ami a **medertalp közel egy méteres magasságváltozásával** járt.

A második és a harmadik mérés között **további feltöltődés** mutatkozik a mintaterület középső szakaszán található **mélyedések mentén**. A **mederközepi zátonyok között elhelyezkedő mélyebb térszín mélysége 70 cm-rel csökkent**, míg **hossza 50 m-rel megnövekedett**. Az alsó részeken azonban **erózió** figyelhető meg.

A **negyedik mérés időpontjára** a mérési terület középső részén a jobb part mentén **ismét megjelenik egy mélyedés** (28/D ábra), amely valószínűsíthetően **kitermelés hatására keletkezett**. A szakasz alsó részén a jobb part mentén **kisebb mélyülés** tapasztalható, míg a bal part mentén **ellentétes folyamatként akkumuláció** jelenik meg.

7. táblázat Az aradi mederszakasz referencia szint feletti
térfogatai a különböző felmérési időpontokban

	2011.06.16	2011.09.29	2012.06.05	2012.10.04
Medertérfogat - Krigelés (m³)	681500	702400	697800	706700
Medertérfogat - TIN (m³)	688600	692300	705900	687900
Eltérés (%)	2	1	2	2

8. táblázat Mederváltozások és a hordalékegyenleg változása az aradi mintaterületen

Medertérfogat változások Krigelés (m³)	2011.06.16 - 2011.09.29	2011.09.29 - 2012.06.05	2012.06.05- 2012.10.04
Akkumuláció (m ³)	40500	26800	30900
Erózió (m ³)	-18300	-32900	-21300
Nettó változás (m ³)	22200	-6100	9600
Abszolút változás (m ³)	58800	59700	52200
Medermagasság változás (m)	0,11	-0,02	0,03

A mederanyag térfogatában, az első és a második mérés között **jelentős hordaléktöbblet** adódik, amely a mélyedések feltöltéséből származik, a hordalékegyenleg változása **22 000 m³**. A második és a harmadik mérés között kisebb mennyiségű fogyás tapasztalható, melynek oka a középső szakaszon tapasztalt feltöltésnél nagyobb mennyiségű anyagveszteség az alsó szakaszon. **A harmadik és negyedik felvételezés között kisebb mértékű nettó akkumuláció jelentkezett**, amely a mederközepi zátony magasságának növekedése okozta, továbbá hogy az alsó szakaszon egyszerre jelentkező akkumulációs és eróziós tevékenység esetében nagyobb a feltöltés mértéke. **A medertalp magasságának változása kismértékű**, jelentős változás a területen nem tapasztalható.

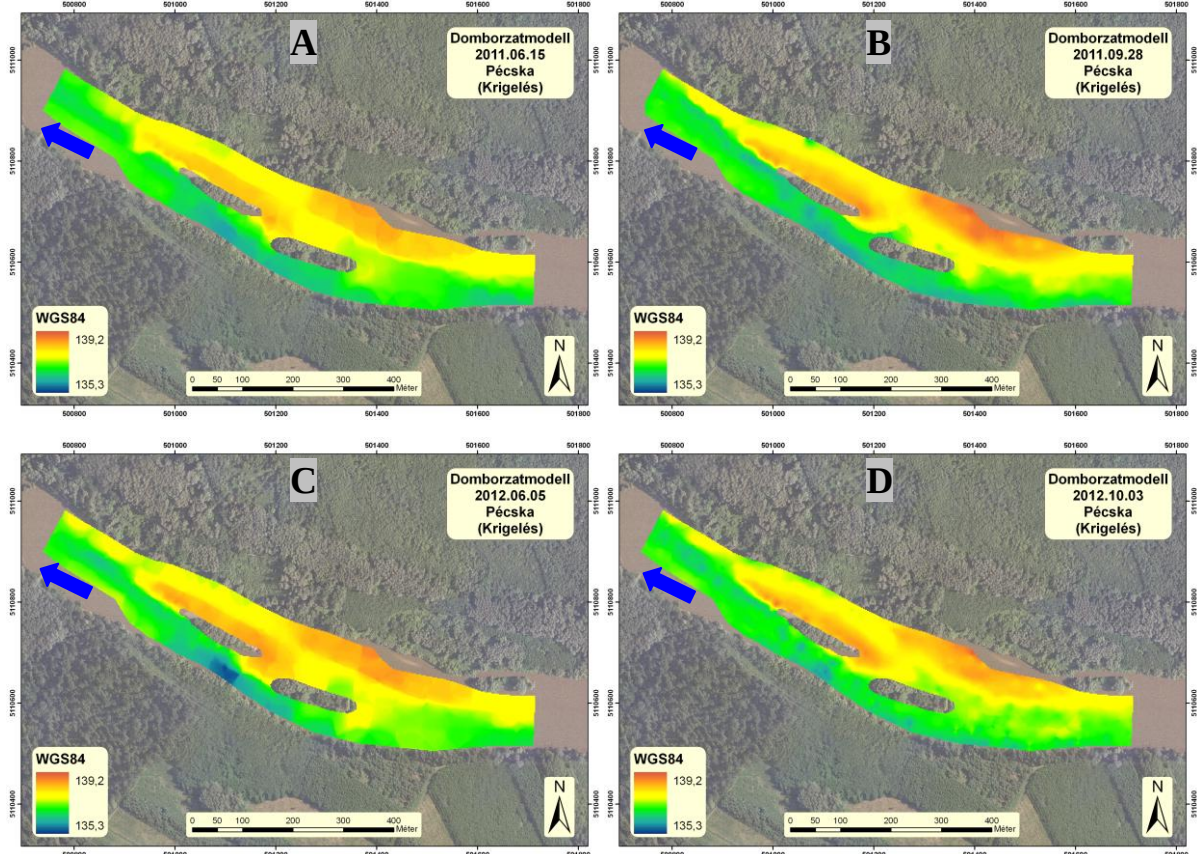
Nagyobb változásokra következtethetünk, ha megnézzük a **teljes anyagáthalmozás** mennyiségét. Az első három mérés között **60000 m³**-es anyagmozgás tapasztalható a teljes területen, míg a harmadik és negyedik mérés között 50 000 m³ ez az érték, azonban **változó megoszlásban**.

5.4 A pécskai felmérések eredményei

A pécskai mérési terület a mintaterületek közül a **legkisebb hosszúságú illetve területű**, a folyó ezen szakaszán **két állandó sziget** is található (29. ábra). A szigetek a folyót több ágra osztják, a felmérések idején a bal part mentén húzódott a fő sodorvonal. A szigetek közötti szakaszon a folyó lerakja hordaléka egy részét, zátonyokat alakít ki, melyeknek mérete a vízállástól és a folyó energiájától függ. A folyószakasz jobb partján egy jelentős, csaknem a teljes mintaterületen végighúzóódó oldalzátony található.

A folyó pécskai szakaszán a vízszint esése 10 cm/km, a felmért terület átlagos szélessége 127 méter. A hordalék döntő többsége homok frakció.

A folyó ezen szakaszán az átlagos vízmélység kisvízkor 1,1, míg nagyvízkor 2,2 m-t. A területen mért legnagyobb mélység 4,3 méter.



29. ábra A Maros medrének domborzata a pécskai mintaterületen az 1 (A). 2. (B) 3. (C) és 4. (D) mérés időpontjában.

A pécskai mintaterületen a **fő változások** a jobb parti **oldalzátony** mentén tapasztalhatóak. Az első (29/A. ábra) és a második felvételezési időpont között a zátony felső részén **kisebb hordaléktöbbség** figyelhető meg, a zátony **magassága mintegy 50 cm-rel növekszik** (29/B. ábra). Az első méréshez képest a **terület alsó szakaszán** egy **új, kisebb méretű oldalzátony** jelenik meg. Az akkumuláción kívül **erózió** is megfigyelhető a **felső sziget jobb oldalán és a két sziget közötti területen**.

A második és a harmadik mérés közötti változások során, az **oldalzátony alsó része feltöltődött** a part mentén, azonban a **magassága visszaesett** az első mérésakor tapasztalt szintekre (29/C. ábra). Míg a terület alsó részén kialakult oldalzátonyt elkezd megbontani a folyó. Továbbá a **sodorvonalban kisebb mértékű erózió** tapasztalható a terület középső részén.

A harmadik és negyed felmérés között az erózió kerül túlsúlyba (29/D. ábra). A **felső sziget jobb partja mellett illetve a terület alsó részén a jobb part mentén 30-40 cm-es medertalp mélyülés** tapasztalható. A mintaterület bal oldalán a **sodorvonal mentén** viszont kisebb mértékű **akkumuláció** jelentkezik. A zátonyok magassága érdemben nem változott.

9. táblázat *A pécskai mederszakasz referencia szint feletti térfogatai a különböző felmérési időpontokban*

	2011.06.15	2011.09.28	2012.06.07	2012.10.03
Medertérfogat – Krigelés (m³)	221300	226400	234400	222100
Medertérfogat - TIN (m³)	219500	227700	232100	220400
Eltérés (%)	0,8	0,6	0,9	0,7

10. táblázat *Mederváltozások és a hordalékegyenleg változása a pécskai mintaterületen*

Medertérfogat változások Krigelés (m³)	2011.06.15-2011.09.28	2011.09.28 - 2012.06.07	2012.06.17-2012.10.03
Akkumuláció (m ³)	15100	19200	8600
Erózió (m ³)	-9900	-11600	-16700
Nettó változás (m ³)	5200	7600	-8100
Abszolút változás (m ³)	25000	30800	25300
Medermagasság változás (m)	0,04	0,06	-0,05

A hordalékegyenlegeket tekintve a pécskai mintaterületen csak kisebb **változások** tapasztalhatóak, amelynek mértéke **5000 illetve 8000 m³** körülire tehető. A **meder magassága** gyakorlatilag **változatlannak tekinthető**, csak centiméteres változások tapasztalhatók.

Azonban, ahogy azt a domborzatmodellek megmutatták a kis mértékű nettó változások, jelentős eróziós, illetve akkumulációs tevékenységet takarhatnak. A változásokat vizsgálva az első három mérés során jelentős mennyiségű az erózió is, azonban **mindig az akkumuláció volt túlsúlyban**. A negyedik mérés idejére ez a folyamat megfordul és immár az erózió lesz a túlsúlyban.

A területen tapasztalható abszolút változás mértéke kicsit magasabb értékű a második és harmadik mérés között, mint az első időszakban, a harmadik és negyedik mérés között pedig az első két érték közé esik. **A átmozgatott hordalék minimális mennyisége** a területen nagyjából **25000 és 30000 m³** közé tehető az egyes időpontok között.

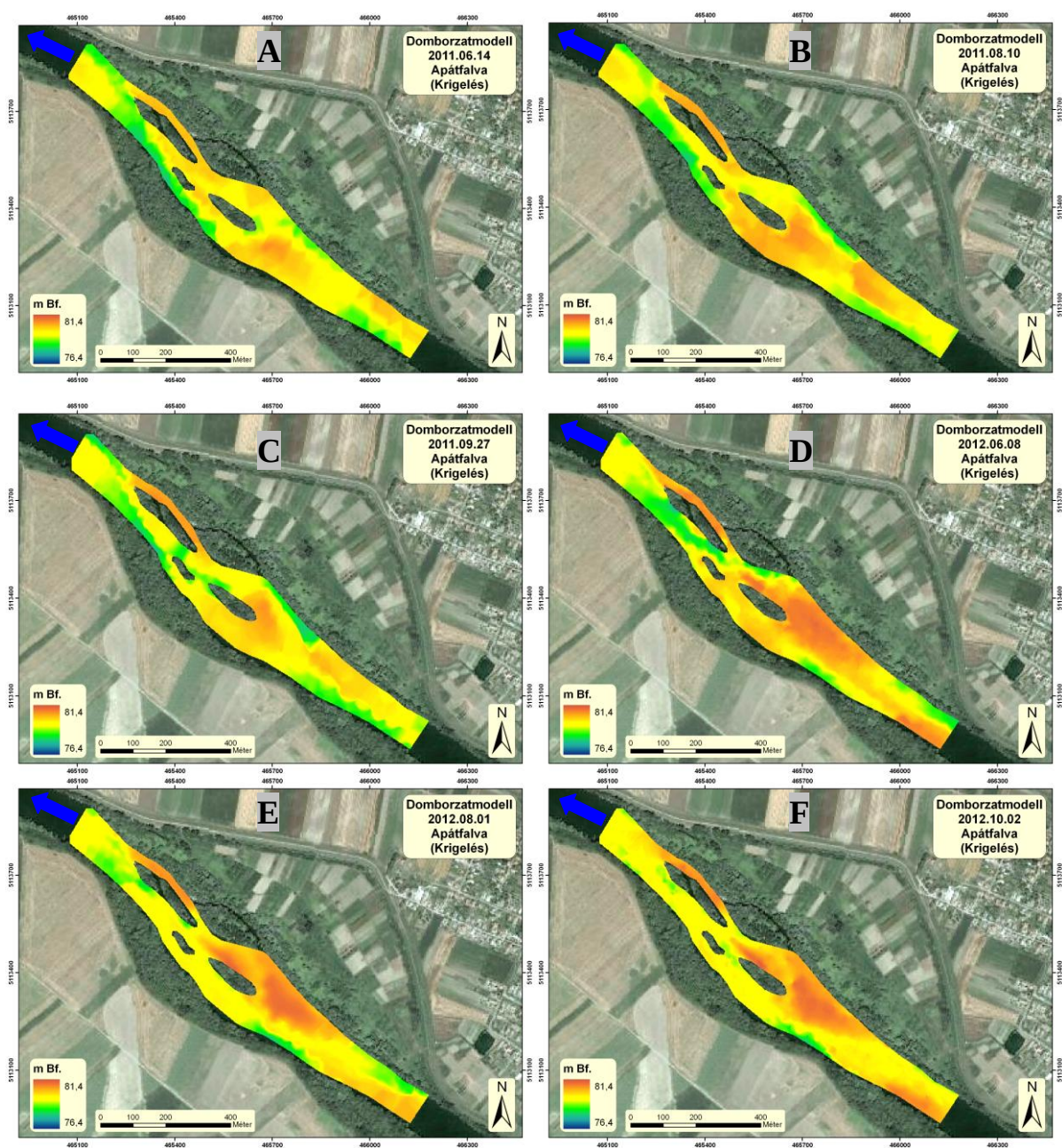
5.5 Az apátfalvi felmérések eredményei

A Maros apátfalvi részén **több sziget is található, melyek több ágra osztják a folyót** (30. ábra). A területen váltakozó **oldalzátonyok** kerülnek el, **mederközepi zátonyokkal** kiegészítve.

A **sodorvonal** az első mérések során egy **S alakot leírva haladt** a területen, először a baloldalon, majd áttérve jobb oldalra, s a szigetek után újra a baloldalon futva. A jelentős mennyiségű **hordalék lerakás hatására** azonban az utolsó felvételezési időpontra **a teljes szakaszon a baloldalra tevődött át** a folyó sodorvonala.

A felmért terület átlagos szélessége 125 m, a szakasz vízszint esése a teljes hosszán 20 centiméter. A szállított hordalék fő összetevője homok, és finomhomok.

A terület átlagmélysége kisvízkor 1,3, míg nagyvízkor 2,4 m. A mintaterületen mért legnagyobb vízmélység 5,2 m.



30. ábra A Maros medrének domborzata az apátfalvi mintaterületen az 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E) és 6 (F) mérési időpontjában

A legnagyobb mértékű morfológiai változások az apátfalvi mérési területen tapasztalhatóak az összes mintaterület közül. Már a második méréskor is jelentős eltérések mutatkoznak az első felvételezéshez (30/A. ábra) képest. A terület felső részein található zátonyok mindegyike előrenyomult 120 méterrel, egyben magasodtak is (30/B. ábra). A harmadik felmérés idejére továbbra is folyamatos a zátonyok előrehaladása, melynek mértéke 50 m (30/C). Magasságuk jelentős mértékben nem változott. A terület jobb oldalán egy mélyedés keletkezett, amely a sodorvonal áttevődését jelzi. A terület alsó szakaszán jelentős erózió mutatkozik a kisebb zátonyok méretének csökkenésével. A negyedik mérés időpontjáig, a felső részen eddig megtalálható oldalzátóny előrenyomult a terület közepére feltöltve az addigi mélyedést, míg magassága 50 cm-t növekedett (30/D ábra).

Az ötödik felmérés időpontjában a terület felső szakaszán lévő balparti oldalzátóny még 50 m-t előrébb haladt (30/E ábra). A terület jobb oldalát pedig teljes egészében feltöltötte a folyó hordalékkal, ennek hatására a sodorvonal átkerült a baloldalra. Továbbá a terület alsóbb részein is az akkumulációs folyamatok kerültek túlsúlyba az előző mérési időponthoz képest. A zátonyok magasságában kisebb csökkenés figyelhető meg.

Az utolsó felmérés időpontjára a terület felső szakaszán, a jobb part menti mélyedés szinte teljesen feltöltődött, 60 cm-es magassági növekedést eredményezve az adott szakaszon (30/F. ábra). A terület legalsó részén szintén az akkumuláció kerül túlsúlyba, létrehozva egy új zátonyt a jobb part mellett. A jelentős akkumuláció mellett, kisebb eróziós tevékenységek is tapasztalhatóak a terület közepén a felső sziget alatt, 50 cm-es bevágódással.

11. táblázat Az apátfalvi mederszakasz referencia szint feletti térfogatai a különböző felmérési időpontokban

	2011.06.14	2011.08.10	2011.09.27	2012.06.08	2012.08.01	2012.10.02
Medertérfogat-Krigelés (m³)	320300	342200	317200	368400	361400	395600
Medertérfogat – TIN (m³)	313800	338000	327400	366900	361000	392600
Eltérés (%)	2	1	4	0,4	0,1	0,7

12. táblázat Mederváltozások és a hordalékegyenleg változása az apátfalvi mintaterületen

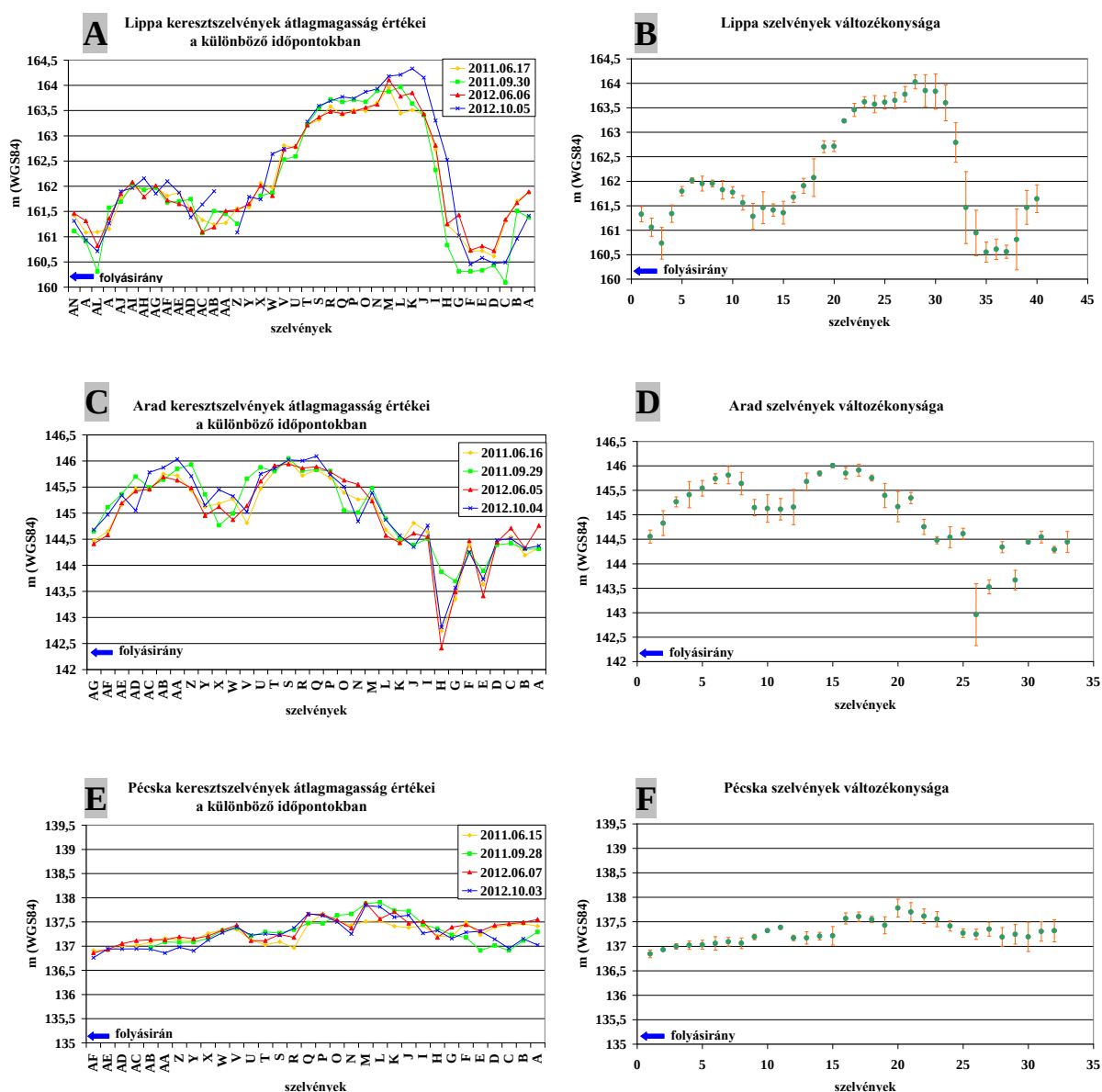
Medertérfogat változások Krigelés (m³)	2011.06.14-2011.08.10	2011.08.10-2011.09.27	2011.09.27-2012.06.08	2012.08.01-2012.06.08	2012.10.02-2012.08.01
Akkumuláció (m ³)	44200	13100	75200	27100	26300
Erózió (m ³)	-22400	-37500	-24500	-34300	-10600
Nettó változás (m ³)	21800	-24400	50700	-7200	15700
Abszolút változás (m ³)	66600	50600	99700	61400	36900
Medermagasság változás (m)	0,13	-0,15	0,30	-0,04	0,08

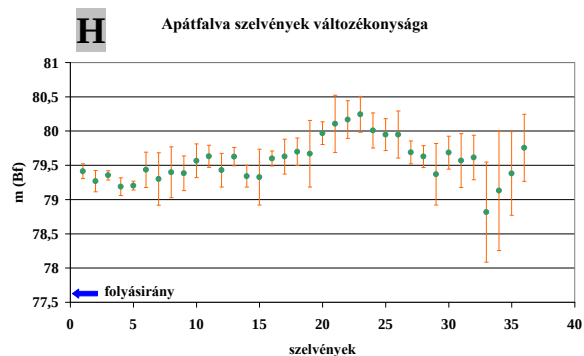
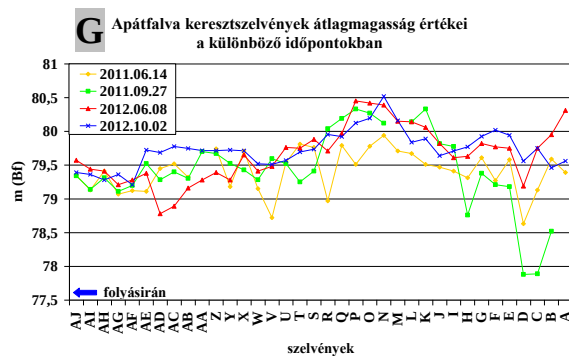
Az apátfalvi mintaterületeken a **hordalékmennyiség változásában, nagyvíztől kisvízig** terjedő időszakban a **hordalékmennyiség nettó csökkenése** figyelhető meg, míg **kisvíztől nagyvízig** az **akkumuláció** van túlsúlyban. A **hordalékegyenleg változása** a területen **elérheti az 50 000 m³** is két mérés között. A **meder magasságában is jelentős különbségek** mutatkoznak az egyes adatgyűjtési időszakokban, a változás **mértéke elérheti akár a 30 cm-t** is. A részletes változásokat vizsgálva két mérési időpontban szintén megfigyelhető az eddigi területekhez képest jelentősebb hordalékmozgatás, mind az eróziót, mind az akkumulációt vizsgálva. A legnagyobb mértékű **hordaléklerakás mellett is akár több 10 000 m³** is lehet az **erózió** mennyisége. Így az észlelt abszolút változások mértéke elérheti a **100 000 m³-t** is az egyes időszakok között, a legkisebb mértékű anyagmozgatás pedig soha nem megy **35 000 m³** alá.

6. Mérési területek összehasonlítása

6.1 Meder változékonyságának meghatározása

Minden egyes mérési területen és mérési időpontban meghatározásra kerültek a keresztaszelvények átlagmagassága, illetve az eredmények szórása, amivel a változékonyságot mérhetjük fel (31. ábra).





31. ábra Mintaterületek keresztmetszévényinek átlagmagassága, szórása

A lippai mérési területen a keresztmetszévények szórása 3 és 73 cm között változik az egyes mérési időpontok között (31/A, B. ábra), főként a terület felső részén vannak kiugró értékek, ott ahol a mederközepe zátony felső része található.

Az aradi mintaterületen a szelvények szórása kisebb értékeket vesz fel, 4 és 63 cm között változik (31/C, D. ábra). A szórásértékeket tekintve egyenletesebb értékek tapasztalhatóak, kiugróbb eltérések a mérési terület alsó részén található mederközepe zátony mentén találhatóak, illetve a mérési terület középső részén.

A pécskai szakaszon tapasztalhatóak a legkisebb szórások a keresztmetszévények átlagmagasságának a változásában (31/E, F. ábra). Az összes mérési időpontot figyelembe véve 2-30 cm között változik ez az érték. A mintaterület teljes hosszában egyenletes az adatok szórása, nagyobb értékek csak a terület felső részén jelentkeznek.

Az apátfalvi mérési szakaszon vannak a legnagyobb változások a szelvények szórását illetően, igazodva a jelentősebb morfológiai változásokhoz. A változás mértéke elérheti a 88 cm-t is és nem kisebb 7 cm-nél (31/G, H. ábra). A legnagyobb mértékű eltérések a terület felső szakaszán tapasztalhatóak, ahol jelentős morfológiai változások kapcsolódnak ehhez, zátonyok vándorlásával, sodorvonal áthelyeződésével.

Az egyes mintaterületeken a szórások átlagértékét felhasználva meghatározható a teljes felmérési időszakon tapasztalható átlagos mederváltozékonyság. Az értékek alapján a legkisebb változás a pécskai mintaterületen tapasztalható, ahol az átlagos változás mértéke 12 cm, utána Arad következik 17 cm-el, majd Lippa 22 cm-el. A legnagyobb változás az apátfalvi mérési területen jelentkezik, ahol az átlagos változás mértéke 29 cm-re tehető, s így a mintaterületek közül ez a legváltozékonnyabb.

6.2 Hordalékegyenleg normalizált változása

Az egyes mintaterületeken bekövetkezett nettó és abszolút változásokat közvetlenül nem lehet összehasonlítani, ugyanis a mintaterületek hossza és területi kiterjedése is változó.

Ahhoz, hogy mégis össze tudjuk hasonlítani a változásokat, minden egyes területen **1 km-es folyószakaszra lett normalizálva a hordalékmennyiség nettó és abszolút változása.**

13. táblázat Normalizált hordalékháztartás a mintaterületeken

Normalizált változások 1 km-es hossza				
2011.06 - 2011.09	Lippa	Arad	Pécska	Apátfalva
Krigelés				
Akkumuláció	4900	19800	13700	27300
Erózió	-14100	-8900	-9000	-29300
Tényleges változás	-9200	10900	4700	-2000
Abszolút változás	19000	28700	22700	56600
2011.09 - 2012.06				
Krigelés				
Akkumuláció	15800	13100	17500	54900
Erózió	-2600	-16000	-10500	-17900
Tényleges változás	13200	-2900	7000	37000
Abszolút változás	18400	29100	28000	72800
2012.06 - 2012.10				
Krigelés				
Akkumuláció	5300	15000	7800	27200
Erózió	-8300	-10400	-15200	-19800
Tényleges változás	-3000	4600	-7400	7400
Abszolút változás	13600	25400	22000	46000

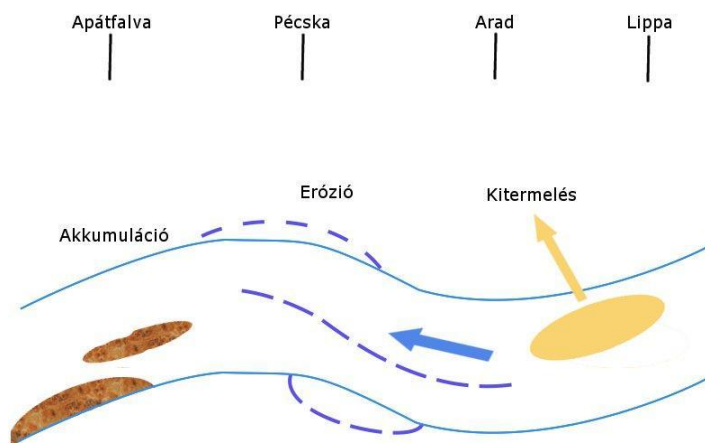
A mintaterületek elhelyezkedése a folyón zajló bányászati tevékenységek alapján (32. ábra):

A lippai mérési terület folyásirányban felfelé helyezkedik el a bányászati tevékenységhez képest, Itt az átdolgozott mederhordalék mennyisége minimálisan **18 000 m³** körüli 1 kilométeres szakaszon (13. táblázat). **Éves szinten** az észlelt mennyiség átlagosan **34700 m³/fkm.** Ez az érték a többi mintaterülethez viszonyítva alacsony. Ez egyrészt a mederanyag felépítéséből is adódhat, ugyanis Lippán **kavicsos meder** található, ami **megakadályozza a nagyobb átrendeződést.** Jelentős változások nagyobb árvizek idején lehetnek, a felvételezések idején azonban csak kisebb árhullámok hatásai voltak vizsgálhatóak. Másrészt azért valószínűsíthető, hogy egyébként is kevesebb hordalék halad át a rendszeren, mint az alsóbb szakaszokon.

Az aradi és pécskai szakasz már a nagymérvű bányászati tevékenységek alatt helyezkedik el. Mindkét területen **dinamikusabb változások** adódtak. Az **abszolút** értelemben vett **anyagmozgatás** mindkét területen **25 000 - 30 000 m³/fkm.** között mozgott. **Éves szinten átlagosan 53 000 m³/fkm.** a mért adatok alapján. A mérési időszakban a két területen **csak egyszer figyelhető meg nettó erózió.** Aradon a lokális bányászatból származó

mederformák felöltődése okozza a jelentősebb akkumulációt, míg Pécskán a finomabb homokos hordalékot jobban tudja mozgatni a folyó kisebb vízállások idején is.

Az **apátfalvi szakaszon** a folyó **jelentős eróziós és akkumulációs tevékenységet** végez, amely az előzőekhez képest **kiugró változásokat eredményez a mederben**, mint az bemutatásra került a 4. fejezetben. **Apátfalván a hordalékmozgatás elérheti akár a 70 000 m³/fkm. nagyságrendet is** az egyes felmérési időpontok között, míg **évente átlagosan 124 100 m³/fkm. értékre tehető az észlelt anyagmozgatás**, amely **többszöröse a többi területhez képest**. Azonban mivel a **felsőbb szakaszokon kisebb az anyagmozgatás**, így **előbb-utóbb Apátfalván is csökkenhet ez az érték**, amelyet a **felsőbb szakaszon lévő bányászati tevékenységek okozhatnak**. Az, hogy jelenleg még **nagy mennyiségű az átdolgozott hordalék mennyisége a területen**, annak **köszönhető**, hogy egyrészt **jelentős mennyiségű a rendszerben lévő anyagmennyiség**, másrészt a **Pécska alatti szakaszon jelentősebb hordaléktermelés** valószínűsíthető, az ott megfigyelhető kanyarulatok aktív vándorlásából kifolyólag.



32. ábra Mintaterületek elhelyezkedése a folyóvízi bányászati környezetben

A többi mintaterülethez viszonyítva, a nagy hordalékmenyiség ellenére az apátfalvi területen is már valószínűsíthető a hordalék mennyiségének csökkenése. Az apátfalvi eredményeket hosszabb időtávban is lehetőség van vizsgálni, mivel Sipos (2006) végzett itt mederfelméréseket 2003 és 2005 között. Az azonos helyzetű keresztmetszelvények alapján meghatározásra került a meder átlagmélysége azonos viszonyítási vízszint mellett (Makói vízmérce 230 centiméteres vízállása), az akkori és a mostani felmérési időpontokban (14. táblázat).

14. táblázat Átlagmélységek Apátfalván az egyes mérési időpontokban

Dátum	Vízállás (Makó, cm)	Átlagmélység (m)
2003.08.12	-64	3.5
2004.05.16	60	3.3
2004.09.30	2	3.5
2005.04.09	192	2.9
2005.06.19	97	3.1
2011.06.14	29	4.2
2011.08.10	10	3.8
2011.09.27	-76	2.8
2012.06.08	122	3.6
2012.08.01	-58	3.1
2012.10.02	-106	3,9

A táblázat alapján megfigyelhető, hogy a korábbi felmérés sorozathoz viszonyítva az átlagmélység értékek növekedést mutatnak, a 4 legnagyobb átlagmélység érték a mostani felméréssorozathoz kapcsolódik. Ez alapján, **a területen jellemző nagy hordalékmennyiség ellenére némi csökkenés mutatható ki a folyószakasz hordalékegyenlegében, amit jelez az egyre mélyülő meder. A csökkenés valószínűsíthető oka a kevesebb beérező hordalék a felsőbb területekről.**

7. Eredmények összefoglalása, következtetések

Dolgozatomban a Maros magyarországi szakaszán került sor hidromorfológiai felmérésekre, négy mintaterületen Lippa, Arad, Pécska és Apátfalva mellett. A felmérések célja a területeken változó hordalékegyenleg meghatározása, illetve a mintaterületek morfológiai változásának vizsgálata. Az adatok felvételezése ADCP-vel és mérőállomással történt, a feldolgozás, a domborzatmodellek, és a térfogat értékek meghatározása ArcGIS térinformatikai program segítségével valósult meg.

A különböző eszközökkel felmért adatok egy **térinformatikai rendszerben való feldolgozása** sikeresen megvalósult. A domborzatmodellek létrehozásával megtörtént a mintaterületek morfológiai változásának vizsgálata, számszerűsítése, illetve a hordalékegyenleg mennyiségének és változásának meghatározása.

Az apátfalvi mintaterület egy reprezentatív szakaszának kétszeri felmérésével a **mérési és kiértékelési hiba** meghatározásra került. Az eltérés mértéke: **1 kilométeres szakaszon a 30 pontos krigelés során $1000 \text{ m}^3/\text{fkm}$ -re tehető, míg a TIN modellel ez az érték $2700 \text{ m}^3/\text{fkm}$. A krigeléses és TIN modell közötti térfogatértékek átlagos eltérés 4800 m^3 -re tehető az összes mintaterületet figyelembe véve.**

A **lippai mintaterület** morfológiai felépítése összességében stabilnak tekinthető, nagyobb változások nem jellemzik a területet, **ugyanazon formák** találhatóak, minden mérési körülmény között. A területen az **abszolút mennyiségű változás éves mértéke $34\,700 \text{ m}^3/\text{fkm}$** körülire tehető.

Az **aradi mintaterületen** a zátonyok mellett **bányászati tevékenységre utaló mélyedések** figyelhetők meg. A mérések között fokozatos feltöltődés mutatkozik a mélyedések tekintetében, ami a medertalp közel egyméteres magasságváltozásával jár. A **teljes anyagmozgatás a területen, éves szinten $56\,150 \text{ m}^3/\text{fkm}$ -re tehető.**

A **pécskai mintaterület** esetében a fő változások az oldalzátony mentén tapasztalhatóak. A **meder magassága gyakorlatilag változatlan**nak tekinthető. A mozgatott **hordalék átlagos mennyisége az észlelt adatok alapján $50350 \text{ m}^3/\text{fkm}$ évente.**

Az **apátfalvi mintaterületen** történtek a **legnagyobb morfológiai változások**. A zátonyok előrenyomulása eléri a méteres értéket, míg magassági változása az 50 cm-t, mind növekedésben, mind alacsonyodásban. A zátonyok folyamatos mozgásával és áthelyeződésével, a sodorvonal futása is folyamatos változásokon megy át. A **hordalékmennyiség változásában pulzáló mozgás** figyelhető meg, nagyvíztől kisvízig terjedő időszakban a hordalékmennyiség nettó csökkenése figyelhető meg, míg kisvíztől nagyvízig az akkumuláció a jelentősebb. A meder magasságának változása meghaladhatja a

30 cm-t is. **Az átlagos éves anyagmozgatás ezen a mintaterületen a legnagyobb, 124 100 m³/fkm. értékkel.**

Az egyes mintaterületek hossz-szelvény menti összehasonlítása között jelentős eltérés mutatkozott meg az **átdolgozott hordalék mennyiségét tekintve két felmérés között, 1 km-es szakaszra normalizálva.** A legkisebb abszolút mennyiségű változás a **lippai** mérési területen megy végbe **18 000 m³/fkm.** értékkel, amely adódhat abból, hogy a kavicsos meder megakadályozza a nagyobb átrendeződést. Az **aradi és pécskai** mintaterületet bányászati tevékenységek utáni szakaszon helyezkedik, a területeken dinamikusabb változások adódtak. Minkét felmérési szakaszt hasonló, **25 000 – 30 000 m³/fkm.** körüli abszolút mennyiségű változás jellemez két mérés között. Aradon a mederformák felöltődése okozza a jelentősebb akkumulációt, míg Pécskán a finomabb homokos hordalékot jobban tudja mozgatni a kisebb vízállások idején is. **Apátfalván** a hordalékmozgatás elérheti akár a **70 000 m³/fkm.** értéket is két adatfelvétel között, ami többszöröse a többi területhez képest. Azonban **mivel a felsőbb szakaszokon kisebb az anyagmozgatás, így előbb-utóbb Apátfalván is csökkenhet ez az érték, amelyet a felsőbb szakaszon lévő bányászati tevékenységek okozhatnak.** A jelenlegi nagy mennyiségű átdolgozott hordalék a rendszerben lévő jelentős anyagmennyiségből, illetve a Pécska alatti szakaszcól érkező hordaléktöbbletből adódhat.

Az egyes mintaterületeken a **szórások átlagértékét** felhasználva meghatározásra került a **mederváltozékonysága.** A legkisebb változás a **pécskai** mintaterületen tapasztalható, **12 cm-el,** utána Arad következik **17 cm-el,** majd Lippa **22 cm-el.** A legnagyobb változás az **apátfalvi** mérési területen jelentkezik **29 cm-rel,** így ez a **legváltozékonnyabb.**

Az **apátfalvi mintaterületen** vizsgálva lett a mérési időpontokban tapasztalható **átlagos medermélység** is, kiegészítve Sipos (2006) felméréseivel, amely alapján elmondható, hogy a nagy hordalékmennyiség ellenére némi csökkenés mutatható ki a folyószakasz hordalékegyenlegében, amit jelez az **egyre mélyülő meder.** A csökkenés valószínűsíthető oka a **kevesebb beérkező hordalék** a felsőbb területekről.

A kidolgozott mérési eljárás segítségével, **további mérésekkel monitoring vizsgálat** végezhető az egyes mintaterületeken.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek dr. Sipos Györgynek segítségéért, tanácsaiért és kifogyhatatlan türelméért, amellyel igazgatta munkámat.

Köszönettel tartozom az ATIKÖVIZIG dolgozóinak, Seres Tibornak és Fiala Károlynak, hogy segítséget nyújtottak munkám során, illetve rendelkezéseimre bocsátották a dolgozat elkészítéséhez nélkülözhetetlen adatokat.

Továbbá köszönet illeti Katona Orsolyát, Pálovits Gyulát, Varga Andrást és Takács Ágneszt a mérések, illetve feldolgozások során nyújtott segítségeikért.

Irodalomjegyzék

- Andó M.** 2002. A Tisza vízrendszer hidrogográfiája. Szegedi Tudományegyetem Természetföldrajzi Tanszék, Szeged, 89 -105.
- Barsi Á., Detrekői Á., Lovas T., Tóvári D.** 2003. Adatgyűjtés légi lézerlevegővel, Geodézia és Kartográfia, Budapest, Vol. LV, No. 7, pp.10-17.
- Bácsatyi L.** 2002. Geodézia, MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron.
- Blott Simon J., K. Pye, Daphne van der Wal, A. Neal** 2006. Long-term morphological change and its causes in the Mersey Estuary, NW England, , In: *Geomorphology* **81**, 185-206.
- Bogárdi János** 1971. Vízfolyások Hordalékszállítás. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Boga L., Nováky B.** 1986. Magyarország vizeinek műszaki-hidrológiai jellemzése: Maros. Vízgazdálkodási Intézet, Budapest.
- Bódis K.** 2008. Digitális domborzatmodellek és alkalmazási lehetőségeik az árvízi kockázatkezelésben. Doktori értekezés. Természeti Földrajzi és Geoinformatikai tanszék, Szeged.
- Csoma J.** 1975. A Maros hidrográfiája. In *Vízrajzi Atlasz Sorozat 19 Maros*. VITUKI, Budapest; 4–12.
- Eilertsen S. Raymond, L. Hansen** 2008. Morphology of river bed scours on a delta plain revealed by interferometric sonar, In: *Geomorphology* **94**, 58-68.
- Fonstad A. Mark, W. Andrew Marcus** 2005. Remote sensing of stream depths with hydraulically assisted bathymetry (HAB) models In: *Geomorphology* **72**, 320-339.
- Fryirs Kirstie A., Gary J. Brierley, Nicholas J. Preston, M. Kasai** 2007. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades, In: *Geomorphology* **70**, 49-67.
- Goda L., Krikovszky S.** 2002. Mozgóhajós vízhozammérés ADCP mérőberendezéssel
- Gómez A. Eduardo, Diana G. Cuadrado, Jorge O. Pierini** 2010. Sand transport on an estuarine submarine dune field. In: *Geomorphology* **121**, 257-265.
- Harvey A.** 2007. Geomorphic instability and change – Introduction: Implications of temporal and spatial scales. In: *Geomorphology* **84**, 53-158.
- Karancsi Z.** 2002. Természetes és antropogén eredetű környezetváltozás a Medves-térség területén, Doktori értekezés. Természeti Földrajzi és Geoinformatikai tanszék, Szeged.
- Kerekes Zs.** 2009. Morfológia és hordalékegyenleg vizsgálata geoinformatikai módszerekkel a Maros apátfalvi szakaszán. Diplomamunka, Természeti és Geoinformatikai Tanszék, Szeged.
- Kiss T., Blanka V.** 2006: Kanyarulatfejlődés vizsgálata a Maros alsó szakaszán. Hidrológiai Közlöny **86/4**, 19-22.
- Kostaschuk R., J. Best, P. Villard, J. Peakall, M. Franklin** 2005. Measuring flow velocity and sediment transport with an acoustic Doppler current profiler. In: *Geomorphology* **68**: 25-37.
- Kovács B., Szanyi J.** 2005. Hidrodinamikai és transzportmodellezés II. (Processing Modflow és Surfer for Windows környezetben), Szegedi Tudományegyetem – Miskolci Egyetem – GÁMA-GEO, Szeged-Miskolc.
- Lóczy D., Veress M.** 2005. Geomorfológia I.: Földfelszíni folyamatok és formák. Dialóg Campus kiadó, Budapest-Pécs.
- Martín-Vide J.P. C. Ferrer-Boix, A. Ollero** 2010. Incision due to gravel mining: Modeling a case study from the Gállego River, Spain, In: *Geomorphology* **117**, 261-271.

- Mélykúti G.** 2007a. Fotogrammetria. BME, Építőmérnöki kar, Budapest
- Mélykúti G.** 2007b. Topográfiai adatbázisok. BME, Építőmérnöki kar, Budapest
- Molnár B.** 2007. A Maros folyó kialakulása és vízgyűjtő területének földtani felépítése In: *Hidrológiai Közlöny* 87/2, 27-30.
- Mucsi L.** 2004. Műholdas távérzékelés, Libellus Kiadó, Szeged.
- Németh E.** 1954. Hidrológia és hidrometria. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Prónay Zs., Törös E.** 2001. Szonár mérések hidrogeológiai alkalmazásai, In: MHT XIX. Vándorgyűlés.
- RD Instruments** 1996. Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation: A Practical Primer
- Richardson W. Roy, Colin R. Thorne** 2001. Multiple thread flow and channel bifurcation in a braided river: Brahmaputra–Jamuna River, Bangladesh. In: *Geomorphology* 38, 185-196.
- Sándor A.** 2011. A hullámtér feltöltődés folyamatának vizsgálata a Tisza középső és alsó szakaszán, Doktori értekezés. Természeti Földrajzi és Geoinformatikai tanszék, Szeged.
- Sipos Gy.** 2006. A meder dinamikájának vizsgálata a Maros Magyarországi szakaszán Doktori (PhD) Értekezés, Földtudományok Doktori Iskola, Szeged.
- Sipos Gy., Kiss T.** 2003. Szigetképződés és –fejlődés a Maros határszakaszán In: *Vízügyi közlemények* LXXXV/3, 477-498.
- Szatmári J.** szerk. 2008, Felszín- és domborzatmodellezés légi lézerlevegővel, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged.
- Sziebert J.** 2010. Folyók mederfelmérési módszerei és az adatok feldolgozása, In: XXVIII. ORSZÁGOS VÁNDORGYŰLÉS Sopron, 2010. július 7-9.
- Tiron L. Jugaru, Jérôme L. Coz, M. Provansal, N. Panin, G. Raccasi, G. Dramais, P. Dussouillez** 2009. Flow and sediment processes in a cutoff meander of the Danube Delta during episodic flooding. In: *Geomorphology* 106, 186-197.
- Topping D.J., D.M. Rubin, T.S. Melis** 2007. Coupled changes in sand grain size and sand transport driven by changes in the upstream supply of sand in the Colorado River: Relative importance of changes in bed-sand grain size and bed-sand area, In: *Sedimentary Geology* 202, 538-561.
- Tobak Z., Juhász L.** Trimble Juno SB és Esri Arcpad 10 segédlet, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged.
- Varga I.** 2003. Földméréstan I. Műszaki könyvkiadó, Budapest.
- Wilson, RP** 1986 Sonar Patterns of Colorado River Bed, Grand Canyon, In: Proceedings of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, **Vol. II**, 5-133.
- Wishart D., J. Warburton, L. Bracken** 2008. Gravel extraction and planform change in a wandering gravel-bed river: The River Wear, Northern England, In: *Geomorphology* 94, 131-152.

Internetes forrás:

- Bartha Cs., GUARDS Rt.** 2012 A műholdas helymeghatározás elve, és gyakorlati alkalmazása. <http://pg.c2.hu/articles/Szakirodalom/Szakcikkek/Helymeghatarozas/A%20muholdas%20helymeghatarozas%20elve%20es%20gyakorlati%20alkalmazasa.htm>.
- Sárközy F.** 1991. Térinformatika, BME, http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/tbev.htm.