

JELENKORI FOLYÓVIZI FELSZÍNFORMÁLÓ TEVÉKENYSÉG ÉS A SZABÁLYOZÁSOK HATÁSAINAK VIZSGÁLATA A TISZÁN ÉS A MAROSON

KUTATÁSI ZÁRÓJELENTÉS

A kutatás célkitűzései

A 1998-2006 között a hazai folyók egyes szakaszain megdőlték az addig mért árvízi rekordok (LNV), ugyanakkor az utóbbi években a kisvizek szintje is rekordokat döntött (LKV). A kutatás során arra kerestük a választ, hogy mindezeket hogyan befolyásolták a meder és az ártér természetes és antropogén hatásra bekövetkező változásai, illetve ezek a rekord vízszintek hogyan hatnak vissza a mederfejlődésre. Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy az eredeti terveinkkel szemben nemcsak a Tiszán és a Maroson végeztünk méréseket, de kiterjesztettük a vizsgálatokat a Hernádra és a Drávára is. Ennek oka, hogy ezeknek a folyóknak a természetessége magasabb fokú és a beavatkozások sokkal fiatalabbak, így a szemiantropogén folyamatok jobban összehasonlíthatók a korábbi természetes folyamatokkal.

A vizsgálataink a mederben és a hullámtéren zajló folyamatok számszerűsítését tűzték ki célul. Az alábbiakban az eredeti célkitűzéseknek megfelelően mutatjuk be elért eredményeinket.

A pályázatban célunk volt az is, hogy segítségével több hallgatót bevonjunk a kutatási munkába. A projektben végzett kutatómunkából eddig 2 PhD dolgozat született, a harmadik pedig 2010 végén készül el. A pályázat jelentősen hozzájárult a hallgatók tehetséggondozásához is, ugyanis a pályázat segítségével 12 hallgató készített diplomamunkát a kutatás valamely részterületéből, és összesen 5 OTDK dolgozat is született.

EREDMÉNYEK

1. Mederben zajló folyamatok vizsgálata

1.1. A meder vertikális paramétereinek változása egy árvíz során

A 2000. és 2006. évi árvizek kapcsán a Tisza algyői és szegedi és a Maros makói szelvényében jelentős morfológiai változások történtek, amelyek alapvetően befolyásolták a középvízi meder vízvezető-képességét (*Fiala et al. 2006, 2007, Sipos et al. 2008*). A morfológia átalakulását a fajlagos munkavégző-képességgel, a vízszintváltozás ütemével és a 2006-os árvíz esetében az izotach mezők alakulásával vetettük össze.

A változások iránya és mértéke a két különböző morfológiájú folyó szelvényeiben eltérő volt. A **Tiszán felszálló** ágakban a munkavégző-képesség nagyságától és a vízszint emelkedés ütemétől függően jelentős ingadozás következett be a meder mélységviszonyaiban és tagoltságában. A medertalp mélyült és a szelvény területe növekedett. Ezt alátámasztja a nagyobb sebességű izotachok területi növekedése és medertalp felé nyomódása. A **tetőzés** napjaiban az energiaszint visszaesésével párhuzamosan a középsebesség lecsökkent, a hordalékmozgás lassulásával és a mederaljzat feltöltődésével a szelvényterület csökkent, a meder kisimult. A **leszálló** ágban ismételten dominánssá vált a meder kimosódása, a szelvényterület növekedése, annak ellenére, hogy az energiaszint egyértelműen csökkent.

A **Maroson** a meder kimosódása és tagoltabbá válása csak a 2000-es árvíz első árhullámának **felszálló** ágában jelentkezett. Ekkor tapasztaltuk a legnagyobb vízvezető-képességet. A **fő árhullám** idején az Algyőnél tapasztalt folyamatokkal ellentétben a medertalp szintjének folyamatos emelkedését figyeltük meg, még a legnagyobb energiaszinteknél is. A rövid tetőzést követő **leszálló** ágban a meder morfológiai szempontból kiegyenlítődt, viszont a mélység értékek és a szelvényterület elhanyagolható mértékben változott.

A vízvezető-képesség változékonysága mind napi szinten, mind a teljes árvíz tekintve igen hasonló volt a két vizsgálati szelvényben. Ez a legnagyobb és legkisebb szelvényterület között 9-10 %-os, míg napi szinten maximálisan 5-7 %-os eltérést takar. Mindez azért szembevetendő, mert a Maroson a fajlagos munkavégző-képesség ingadozása az árhullám során sokkal szélsőségesebb, mint a Tiszán (Makónál $\omega_{\max}/\omega_{\min}=10,6$; Algyőnél $\omega_{\max}/\omega_{\min}=4,6$).

Megállapítható, hogy a mind a Tisza, mind a Maros medrének morfológiai paraméterei (mélység viszonyai, érdessége) valamint vízvezető képessége sok esetben nem a legnagyobb vízállás, de még csak nem is legnagyobb munkavégző képesség idején a legnagyobb. Így az árhullámok során kialakulhatnak olyan helyzetek, amikor jelentős mértékben befolyásolja a meder alján formákban mozgó hordalék az átfolyási szelvény keresztmetszetét.

1.2. A meder vertikális és horizontális morfológiai paramétereinek változása hosszútávon

A meder keresztshelvényeiből a legteljesebb adatsor (1890-1999) a Tiszán áll rendelkezésre, a Dráván, a Maroson és a Hernádon egyetlen keresztshelvényezés volt az 1970-es évek elején, így azok időbeli alakulását nem, csak térbeli változásait lehetett vizsgálni (Sipos et al. 2007).

A Tiszán a shelvényeket geomorfológiai helyzetük alapján vizsgáltuk (Fiala és Kiss 2006ab, Kiss et al. 2008). Elkülönítettük az egyenes és kanyarlati szakaszokat, hiszen ezekben az áramlási viszonyok, így a sodorvonal helyzete is eltérő, s ennek következtében a mederfejlődés üteme és jellegzetességei közötti különbségek is jelentősek lehetnek. A kijelölt szakaszokon belül meghatároztuk az emberi beavatkozástól függetlenül, közel természetesen fejlődő shelvényeket és azokat, amelyeknek alakulását partbiztosítás befolyásolja. A vizsgált Mindszent melletti 25 km-es Tisza szakasz morfológiai paraméterei időben és térben változóak, amit legfőképpen a szakasz morfológiai helyzete és a szakaszt ért szabályozási tevékenység határoz meg, bár a shelvény fejlődésének ütemét befolyásolhatja még a meder és partfal anyaga, illetve a partmenti növényzet jellege is.

A természetes úton fejlődő szakaszok shelvényeinek összehasonlítása azt mutatja, hogy a Tisza egyensúlyra törekvő rendszert alkot, hiszen a paraméterek összességében alig változtak. Ha valamelyik keresztshelvény geometriai paramétere új értéket vett fel, akkor a komplementer paramétere ellentétes irányban változott, kiegyenlítve az előbbi hatását. Például a meder mélységviszonyainak változásával párhuzamosan a szélességviszonyok változnak, így természetes körülmények között a shelvények területe alig változik ($\pm 2-3\%$), illetve igazodik az árvízi vízhozamokhoz, így a vízvezető képesség állandó érték közelében maradhat. A kanyarulatokban az inflexiós pontokhoz képest intenzívebb változás figyelhető meg, mind a vertikális, mind a horizontális paraméterek tekintetében hiszen az inflexiós szakaszok funkciója inkább az anyagtovábbítás, míg a kanyarulatokban akkumulációs és eróziós folyamatok jellemzők, a partot felépítő anyag állékonyságától függően. A direkt emberi hatásoktól mentes shelvények paramétereinek egységesebbé válása is megfigyelhető, ami a shelvények 1976-ig tartó mélyülésben (átlagosan 2 m) azóta pedig feltöltésben (0.9 m) jelentkezik. Ezzel komplementer módon az átlagszélességek először csökkentek (-11 m), majd ismét tágultak (+21 m). Ezeknek a változásoknak a következtében a shelvények alakjai is egyre inkább közelítenek egymáshoz, leginkább a szomszédos shelvényekéhez, amit az alak indexek egyöntetű csökkenése is mutat. Ez az egységes alakúvá válás, és a természetes alakok egyre nagyobb mértékű torzulása arra utal, hogy ezek a shelvények sem mentesek az emberi hatásoktól, hiszen a mélységváltozások a 19 századi munkák esésnövekedéseit követték, az alakváltozásokra pedig minden bizonnyal a felsőbb szakaszok partvédő műveinek áramlás módosító hatása is befolyást gyakorol. Ugyanakkor az új kanyarulatok megjelenése, a szabadon fejlődők egyedi fejlődési módjai azt is mutatják, hogy a folyó természetes fejlődése tovább folytatódik, bár ennem mértékét limitálják az emberi hatások.

Azoknak a szelvényeknek a paraméterei, amelyek valamilyen **közvetlen antropogén** hatás alatt állnak, jelentősen módosulnak. Az **átvágások** eredményeként egyenes szakaszok jöttek létre, amelyek teljes kifejlődése 1929-57 között lezajlott, hiszen szélességviszonyaik és keresztshelvényi paraméteraik ekkorra váltak a hasonló geomorfológiai tulajdonságú természetes szakaszokhoz hasonlóvá. Azt ezt követő időszakban paraméterei, alakjuk hasonló módon változtak, mint a természetes úton fejlődő egyenes szakaszok. A szelvényterületeik (1700-1750 m²) hasonlóvá váltak, így vízvezető képességük is, tehát alkalmazkodtak a mederformáló vízhozamokhoz, a folyó dinamikájához.

Ugyanakkor a **partbiztosítással ellátott** szelvények alakjának és paramétereinek változása, annak mértéke és fejlődési vonala az egyensúlyvesztés irányába mutat a partbiztosítások kiépítését követően. A horizontális paraméterek is azt mutatják, hogy ezek a kanyarulatok egyre élesebbé válnak, hiszen görbületi sugaruk általánosságban csökkent, kanyargósságuk nőtt. A keresztshelvények jellemző mutatói is nagymértékben változnak, és a szűkülés folyamatát bizonyítva. A homorú part fejlődése a partbiztosítást követően leáll, ugyanakkor a domború oldalon lévő övzátony tovább épül, ennek hatására a sodorvonal egyre közelebb szorul a homorú parthoz, szembeűnő szelvényalak-torzulást okozva. Ezen folyamatok hatására a mederszelvények alakja megváltozott, mára bevágódó, V alakkal jellemezhető (átl. alak index = 18,3-ról 10,7-re). A fenti folyamat eredményeképpen az egyes szelvények területe 4-19 %-kal csökkent (*1. táblázat*), ami a vízvezető képesség csökkenését eredményezte. Így egyes esetekben az eredetileg 1004 m³/s vizet szállítani képes középvízi meder mára már csak 868 m³/s víz levezetésére képes, tehát akár 136 m³/s-mal kevesebb mennyiségű víz folyhat át a középvízi mederben. Számításaink azt mutatják, hogy a partvédő művekkel ellátott szelvényeknél az 1890-es állapothoz képest 2001-ig 6,2-13,5 %-kal csökkent a mederkitöltő vízhez tartozó vízhozam. A sodorvonal áttevődése és az övzátonyon megtelepedő sűrű ártéri növényzet korlátozza, illetve csaknem lehetetlenné teszi a szelvény természetes úton történő tágulását, így a vízvezető képesség javulását. Ez alól jelenthetnek kivételt azok a szelvények (pl. 214, 215, 215/1), ahol a gyors apadást követően a fedetlen övzátony anyaga becsúszik a mederbe és elszállítódik, így a következő árvíz idejére a vízvezető képesség javulása figyelhető meg.

1. táblázat: A középvízi meder árvízvezető képességének csökkenése partbiztosítás hatására

<i>Szelvény</i>	<i>Beavatkozás éve</i>	<i>1890</i>	<i>1929</i>	<i>1957</i>	<i>1976</i>	<i>1999</i>	<i>2001</i>	<i>Változás 1890-hoz képest (%)</i>
212. V.O.	1940	1004,3	1152,2	905,7	929,9	868,8	n.a.	-13,5
214. V.O.	1932	1186,9	1276,8	945,7	934,4	1058,2	1099,6	-7,36
215. V.O.	1910	904,2	861	1005,2	1013,3	848,3	n.a.	-6,2

A biztosított szakaszok vízvezető képességének jelentős mértékű csökkenése azért mondható jelentősnek, mert a vizsgált, 25 km közötti folyószakasz 37 %-a partbiztosított, s ezek a szűkületek nemcsak a folyó egyensúlyi állapotának egy rövidebb szakaszon való megváltozását tükrözik. Ráadásul figyelembe véve, hogy a partbiztosítások szakaszosak (0,2-2,5 km hosszúak), ezek a szakasz teljes hosszán át közvetett vagy közvetlen módon befolyásolják a mederalakulás ütemét. Ugyanakkor a szűkületek miatt az árvízi kockázat is jelentősen megnőtt, mivel a mérések szerint a hullámterek árvízvezető képessége minimális, hiszen a mederben vezetődik le az árvizek 75-80 %-a. Tehát a meder vízvezető képességének csökkenése azzal jár, hogy ugyanazon vízhozamok egyre magasabb árvízszintekkel járnak, ahogyan azt az árvízi hurokgörbék is mutatják.

A biztosított mederszelvények időbeli alakulásából következtethetünk a rendszer válaszadásának hosszára is (response time). Az átvágások végrehajtása és a mederszelvény egyensúlyba kerülésének időpontja között 60-70 év telt el, a mederszelvények paraméterei ugyanis ekkorra közelítették meg a hasonló helyzetű, direkt emberi hatásoktól mentes szelvények hasonló adatait. A

partbiztosításokat követően radikálisan változnak a szelvények paraméterei, ugyanakkor az 1999-2001 közötti rekordárvizek hatására a kanyarulati sugarak és szelvényterületek újbóli növekedése figyelhető meg. Tehát a partbiztosítást követően közel 60-70 év az intenzív horizontális és vertikális mederszűkülés időszaka, s csak ezt követően indulhat el a tágulás, amely azonban erősen korlátozott.

A **Maros** vizsgált szakaszáról ugyanakkor elmondható, hogy az elsősorban átvágásokkal szabályozott szakaszon jelentősen nőtt a folyó energiája, ezért a 19. századi beavatkozásra válaszul a folyó tágulatokat és szigeteket hozott létre (*Kiss és Sipos 2007, Sipos és Kiss 2006ab, 2007, 2008*). Ezáltal a meder ha lokálisan is, de egy intenzívebb morfológiai változásokat megtestesítő fonatos mintázat irányába változott, amelyet alátámasztanak a kitágult mederszakaszok kereszt-szelvényeinek morfológiai paraméterei, és azok változásai. Ilyen értelemben a vízfolyás 100 éves távlatban geomorfológiai szempontból érzékenyen reagált az emberi beavatkozásra. Ugyanakkor a hidrológiai változók továbbra is a meanderező mintázatnak megfelelő értéket mutatnak, és ennek megfelelően a meder hosszabb távon robosztus módon idomul a megváltozott körülményekhez, azaz befogadja a változásokat, és visszatér eredeti, meanderező állapotába, tehát a folyamatos szűkülés ennek jeleként értékelhető.

1.3. Tágulatok és zátonyok üledékszállításban és raktározásban betöltött funkciója

Mivel szigetek és kiterjedt zátonyok a Maros kiszélesedett szakaszain fordulnak elő legnagyobb számban és változatosságban, a legrészletesebb vizsgálatokat itt végeztük (*Kiss és Sipos 2007, Sipos és Kiss 2006ab*). De hasonló vizsgálatot kezdtünk a Dráva Vízvári szakaszán is.

Megállapítottuk, hogy mivel a Maroson igen rövid ideig tartanak az árvizek (tartósság: 2 %), ezért a kisebb vízállások is fontos szerepet töltenek be a hordalékszállításban a medertágulatokban kialakuló zátonyrendszerek szelepfunkciója révén. Az árvizek leszálló ágában a tágulatok elején, a szigetek frontján nagy mennyiségű fenék-hordalék rakódik le zátonyok formájában. Azonban a szigetek között a leszűkült mederkeresztmetszet megnöveli a vízsebességet és ott a hordalék mobilizálódik illetve tovább szállítódik. Azokban a medertágulatokban, ahol nincsenek szigetek vagy a parthoz simulnak, ott a zátonyok a tágulat alsó végén keletkeznek. Ha ezeket stabilizálja a növényzet, akkor szigetekké válhatnak, s a korábban leírt módon történik az üledék lerakódás, tehát az akkumulációs zóna folyásirányban felfelé tolódik. Méréseink szerint árvizekkor akár 6-10 %-al is csökkenhet a mederkeresztmetszet a zátonyképződés miatt. Ez a hordaléktöbblet a mederkitöltő illetve kisvízes időszakokban a sodorvonal áttevődésével fokozatosan erodálódik, tehát ezek a vízállások is igen fontos szerepet töltenek be az üledékszállításban.

1.4. Övzátonyok és alacsonyabb felszínek kialakulása és fejlődése az elmúlt évtizedekben

Övzátony-felszínek kialakulását és az ezt befolyásoló tényezőket a Maroson és a Hernádon vizsgáltuk részletesebben, hiszen itt olyan jelentős mértékű a kanyarulatfejlődés, hogy azt a hagyományos geoinformatikai és dendrológiai módszerekkel lehetett vizsgálni. (A Hernádra vonatkozó eredményeket a következő fejezetben mutatjuk be.)

A vizsgált időszakban (1953-1990 között) a Maros magyarországi szakaszán jelentős mértékű mederszűkülés zajlott, melynek következtében a mederszélesség kisebb és egységesebb lett (*Sipos és Kiss 2007, Sipos et al. 2007*). Általánosságban megfigyelhető, hogy az új felszínek a parttól távolabb, az övzátonyok magas csúcsán jöttek létre és a köztes terület később stabilizálódott, bár a kanyarulatok legfiatalabb felszínei esetében ez már nem jellemző (*Blanka et al. 2006*).

A meander paramétereket vizsgálva megállapítható, hogy az 1953 óta tapasztalt mederszűkülés mindkét kanyarulatnál lényeges változásokat okozott, azonban míg a deszki kanyarulat a változáshoz alkalmazkodni tudott és a meander paraméterek aránya közel állandó maradt, a ferencszállási meander az emberi beavatkozások hatására jelentősen torzult (*Blanka és Kiss 2006ab*).

Megállapítható, hogy a fák kora alapján meghatározott fő partépülési időszakok a vizsgált kanyarulatokban és a szigeten is hozzávetőlegesen azonosak – a legteljesebben a szigeten figyelhető meg, a kanyarulatok esetében egyes időszakok hiányozhatnak – és jól köthetőek egyes árvízi jelenségekhez (Sipos *et al.* 2008). Megfigyelhető, hogy új szárazulatok kialakulására csak kiemelkedően magas, 400 cm körüli árvízi magasságok esetében van lehetőség. A fűz- és nyárfasarjak, rendszerint az akkumulációt követő, alacsonyabb vízállású években már megjelennek a friss homok- illetve agyagfelszíneken. Tapasztalataink szerint az újonnan létrejött felszínek fennmaradásának és továbbfejlődésének leginkább az kedvez, ha a friss felszínek kialakulását néhány évig nem követik nagyvizek, így a növényzet tartósan megtelepedhet, s a későbbi árvizekkel szemben is megvédi ezeket az új formákat. A fák kora egyezést mutat a térinformatikai elemzés által megállapított partépülési időszakokkal, bár annál sokkal pontosabb eredményt adott.

1.5. Vízjárás változás hatása a mederformálódásra

Minden vizsgált folyón jelentős morfológiai változások zajlottak az 1950-es évek óta, amelyek háttérben a hidrológiai viszonyok jelentős mértékű módosulása okozott. Az 1950-es évek végéig a hidrológia paraméterek hosszú távon fennálló egyensúlyi állapotokat tükröztek, hiszen a vízállásadatok gyakorisági görbéi nem változtak jelentősen. Ehhez alkalmazkodott a medermorfológiai is: a vizsgált folyókat széles meder, az alig szabályozott Hernádot változatos kanyarulati viszonyok jellemezték.

Az 1950-es évek végétől a hidrológiai egyensúly felborult: a vizek szintje alább szállt, a vízhozamok módosultak, a vízjárás szélsőségei nőttek. Mivel ennek hatásai a legkifejezettebbek a Hernádon és a Maroson voltak, ezeket vizsgáltuk részletesebben (Blanka és Kiss 2006b, 2008ab).

A hidrológiai tulajdonságok megváltozása a **Hernádon** bizonyíthatóan a vízgyűjtő felsőbb részein bekövetkező lefolyásviszonyok módosulásával, a nagy szlovákiai városok intenzív fejlődésével és megnövekedett vízkivételével, a víztározók megépítésével és feltöltésével állhat kapcsolatban (Kiss *et al.* 2009). A hidrológiai rendszer megváltozásával egyidőben a Hernád morfológia viszonyai is átalakultak, a meder a kisebb vízmennyiség levezetésére módosult: szűkült, a nagy kanyarulatokon másodlagos hurkok fejlődtek. Azonban a nagyobb esésű, lazább partanyagú szakaszon ezek a változások jóval intenzívebbek, és a folyamatok egyirányúak voltak (a horizontális kanyarulati paraméterek folyamatos csökkenése), ez a szakasz érzékeny választ adott a változásokra. Hatalmas alsódobozai kanyarulata már valószínűleg ekkor is a vízhozam-szélesség-kanyarulathossz tekintetében a változás küszöbértékén állt, azaz a legkisebb változás is elég volt ahhoz, hogy másodlagos kanyarulatok jöjjenek rajta létre. Ezzel szemben a kisebb esésű, kötöttebb partanyagú szakaszon – bár a paraméterek csökkentek, és az intenzív csökkenési időszakok a felső és az alsó szakaszon egybeesnek – ciklikus változások történtek, azaz a rendszer némileg képes volt pufferni az őt ért hatásokat. Így az alsó szakasz válasza a változásokra robusztusnak tekinthető, itt a morfometriai küszöbértékeken belül mozoghattak a folyó kanyarulatai paraméterei.

A különböző vízhozamok (mederformáló és középvíz) az 1990-es évek végétől nőttek, az eredeti hidrológiai állapotok felé közelítenek. Ennek oka a szlovák városok népességgyarapodásának megállása és a csatornázottság révén a Hernádba történő vízviasszajuttatás megnövekedése lehet. Azonban ennek morfológiai következményei még nem jelentkeznek. Ugyanakkor az eddig kialakult morfológia az árvízi kockázat növekedését okozza, mivel árvizek levezetése lelassult és az árvizek magasabb vízállással tetőznek, hiszen a meder jóval kisebb vízhozamok levezetésére módosult.

A **Maroson** a vízjárás módosulása a meder szűkülését, a korábbi övzátonyfelszínek és mederközepi zátonyfelszínek megkötődését, növényzettel való betelepülését eredményezte (ld. 1.4. fejezet).

2. Hullámtéren zajló folyamatok vizsgálata

2.1. Rövidtávú akkumuláció (egy-egy árvíz okozta)

A rövidtávú akkumulációt a Maros (Oroszi és Kiss 2006b) és a Tisza árterein vizsgáltuk 1998-2006 között (Sándor és Kiss 2007, 2008a). Apátfalvánál (Maros) egy ismert korú övzátonyfelszín tette azt lehetővé, hogy itt némileg hosszabb időintervallumban (1950 óta) vizsgáljuk egy szelvény mentén a felhalmozódás mértékét.

Mind a Tisza, mind a Maros esetében elmondható (Oroszi et al. 2006), hogy az áradás során lerakódott üledék vastagsága a medertől távolodva exponenciálisan csökkent, a maximális értékeket minden esetben a part mentén mértük (2. táblázat). A lerakódott üledék vastagságát befolyásolta a meder geometriája. A legvastagabb hordalékréteg a kanyarulatok belső ívén rakódott le, valamint ahol a sodorvonal a folyóparthoz szorul és a folyó intenzív folyóhát építést folytat. A hullámtéri öblözetek távolabbi pontjain jelentősebb szerephez jut azok domborzatának változatossága, a szabályozásokat megelőző időkből átöröklött képződmények, holtágak. A Maros lebegtetett hordaléktöménysége a Tiszánál nagyobb, ezt jól tükrözi, hogy kevesebb, mint fele annyi ideig tartó elöntési időszak alatt hasonló vastagságú hordalékréteget rakott le. A lerakott üledékek szemcseösszetétele a folyótól távolodva fokozatosan finomodik.

2. táblázat: Rövidtávú akkumuláció mértéke a vizsgált hullámtéri területeken

Folyó	Mintaterület	Időszak	Feltöltődés mértéke (cm)	
			maximális	átlagos
<i>Maros</i>	Vetyehát	2005	26	1,8
	Apátfalva	1950-2008	11	2,2-3,5
		2005-2006		
<i>Tisza</i>	Mindszent	1998-2006	70	0,6-1
	Szolnok, Millér	2005-2006	19	0,5
	Szolnok, Árapasztó	2000-2005	68	10-13,6 cm/év

2.2. Hosszútávú akkumuláció mértéke (szabályozások óta)

A vizsgálat során kétféle megközelítést alkalmaztunk. A Maros teljes magyarországi hossza mentén a feltöltődés térbeli jellemzőit a mentett oldalak és a hullámterek magasságkülönbségei alapján számoltuk ki DDM felhasználásával (Oroszi et al. 2007, Kiss et al. 2010). A feltöltődés ütemének meghatározásához (3. táblázat) a Tisza és a Maros hullámterének néhány kitüntetett pontján (pl. egykori medrek, folyóhát) fúrások üledékét elemeztük (szemcseösszetétel, nehézfémek, mágneses tulajdonságok, pollenanalízis; Sándor és Kiss 2006ab).

A feltöltődés ütemének időbeli változását legpontosabban a Maros holtágaiban tudtuk nyomon követni, ugyanis itt őrződtek csak meg a megfelelő számban a pollenszemek. A pollendiagrammok azt mutatták, hogy a morotvák juvenilis állapotukban (átvágásuktól 1884/89-ig) gyorsabban (1,9-2,4 cm/év) töltődtek fel, valószínűleg az átvágások technikájából adódó zavaró hatások miatt. Később, 1884/89 és 1960-as évek között az üledékképződés lelassult (1,4-2,1 cm/év) mivel a kiegyenesített szakaszok stabilizálódtak, a parterózió és bevágódás mérséklődött, illetve a feltöltődött holtágak is egyre kevésbé töltötték be a hordalékcspada szerepet. Az 1960-as évektől napjainkig az alsó szakaszon a feltöltődés tovább csökkent (0,5-0,9 cm/év). A morotva kezdetben fokozott, majd csökkenő mértékű feltöltődése egyezik más kutatások eredményeivel. Ezzel szemben a makói, hordalékkúp peremi holtágban újra intenzívebbé vált (2,6 cm/év) az akkumuláció 1960-as évek óta, ami helyi okokkal magyarázható: a morotva úgy feltöltődött, hogy felszántották, ennek hatására részben a természetes erózió, részben a gépek elegyengetése miatt több üledék jutott a mederbe árvízmentes időszakokban is.

A Tiszához viszonyítva a Maroson az árvizek igen gyorsan vonulnak le, ezért az 1,0 méteres vízborítású árvizek gyakorisága évente 1 nap, míg a 2,0 méteresnél mélyebb vizű árvizek visszatérési valószínűsége 30 év. Számításaink szerint 105 év alatt összesen 88 napig volt legalább 1,0 méteres vízborítás az ártéren. Ez azt jelenti, hogy átlagosan 1,5-2,7 cm/nap az árvizek során a feltöltődés mértéke!

3. táblázat: A hosszútávú akkumuláció mértéke a vizsgált marosi és tiszai hullámtéri területeken

Folyó	Mintaterület	Módszer	Feltöltődés üteme (cm/év)
Maros	Makótól a torkolatig	DDM	0,9-2,1
	Makó, egykori folyóhát		0,2
	Makó, mindenkori ártér		0,6
	Makó, egykori holtág	Szedimentológiai	2,4
	Zugoly, egykori holtág	elemzés	1,3
	Vetyehát, egykori holtág		1,8
Tisza	Mártély, mindenkori ártér		0,2-0,3
	Mártély, egykori övzátony	Szedimentológiai	0,4-0,7
	Nagykörű, mindenkori ártér	elemzés	0,4
	Millér, mindenkori ártér		0,8

2.3. Az akkumulációt befolyásoló tényezők

Az akkumulációt befolyásoló általános tényezőket (esés és ártérszélesség) leginkább a Maros mentén a DDM segítségével tudtuk értékelni, ugyanis ez adott kellő számú adatot a vizsgálatához. A mintaterület különleges geomorfológiai helyzete következtében a feltöltődés jellegzetes térbeli mintázatot mutat a Maros hosszfelvénnyel mentén (Oroszi et al. 2007, Kiss et al. 2010). A legintenzívebb az akkumuláció a fiók-hordalékkúpi szakaszon (1,6-2,1 cm/év) és a torkolatnál (1,1-2,0 cm/év), míg a hordalékkúp peremén (0,9-1,4 cm/év) és az ártéri szakaszon (1,2-1,7 cm/év) kevésbé gyors.

A hullámtér szélessége és az akkumuláció között egyes szerzők negatív, mások pozitív korrelációt találtak. A vizsgált szakaszon azonban nem találtunk egyértelmű kapcsolatot a paraméterek között.

A hordalékkúp előtti és fiók-hordalékkúpi szakaszon a feltöltődés arányos az eséssel. Azonban ahogy csökken az esés, az akkumulációban egyre nagyobb a szórás, ami arra utal, hogy az esésen kívül más tényezők is befolyásolhatják (pl. vegetáció, ártérdomborzat, visszaduzzasztás stb.). A torkolati szakasz nagyobb mértékű akkumulációja egyértelműen a Tisza visszaduzzasztó hatásának következménye. A hordalékkúp peremi szakaszon a többi szakaszokra érvényes trend nem érvényesül, itt a nagy esés mérsékelt feltöltődéssel jár. Ez valószínűleg annak a következménye, hogy itt a hullámtér növényzete mindvégig kis sűrűségű gyeperdő illetve szántóföld maradt, tehát a hullámtéren a vízsebesség árvízkor kevésbé lassult le, tehát belőle a lebegtetve szállítódó hordalék kiülepedése is mérsékeltebb lehetett.

A hullámtéri akkumuláció mértékét a morotvák esetében befolyásolta a szabályozásuk ideje is. A feljegyzések szerint az átvágások idején a kiegyenesített Maroson annyira megnőtt a fenékhordalék szállítás, hogy a meder elzátányosodott, és a 4-5 m mély meder alig néhány 10 cm mélyé vált. Tehát minél idősebb egy átvágás, annál inkább a szabályozás kori hirtelen megnövekedett üledékhozam tanúja, tehát benne annál több hordalék rakódhatott le a szabályozások időszakában.

A hullámtér belsőbb részein a feltöltődés főként a geomorfológia által is befolyásolt. A szabályozások során átvágott és mára erőteljesen feltöltődött egykori kanyarulatokra még napjainkban is kitüntetett akkumuláció a jellemző (2-3,5 cm), az aktív medertől jelentős távolságokban is. A

felhalmozott anyag mintázatát a természetes felszínformák mellett a hullámtér mesterséges létesítményei is módosították. A csatornák, kubikgödrök területén fokozott akkumulációval kell számolni.

Az apátfalvi mintaterület esetében –a mederre vonatkozó mérésekkel egyezően (Sipos és Kiss 2006a) – folyásirányban közvetlenül a szigetek felett egy jelentősebb üledék-felhalmozódással jellemezhető akkumulációs zóna alakult ki a hullámtéren is. Mivel a szigetrendszer megosztja a folyó sodorvonalát, a mederben kialakuló sekélyebb akkumulációs zónának köszönhetően a folyó itt a hullámtérre is több, döntően homokos üledéket szállít. A lerakott nagy mennyiségű hordaléknak köszönhetően folyásirányban tovább haladva az akkumuláció csökken a mederben (transportációs zóna), majd eróziós folyamatok váltak uralkodóvá, ezzel együtt a hullámtéren megfigyelt akkumuláció mennyisége is csökken. Így a mellékágakkal szabdalta medertágulat „visszacsatolja” a szabályozott vízfolyást hullámteréhez és elősegíti, hogy a víz áradások alkalmával gyakrabban, nagy sebességgel lépjen ki a hullámtérre és több, durvább üledéket szállítson magával.

2.4. Vegetáció okozta érdesség

A vegetáció okozta érdesség vizsgálatát a Maroson és a Tiszán a hosszútávú akkumuláció vizsgálatok végeztük el. Minden mintaterületen megvizsgáltuk a területhasználat változását. A Maroson ez kiegészült a növényzeti foltok folytonosságának elemzésével, míg a Tiszán a 2006-os árvíz ideje alatt vízsebesség mérésekre is volt lehetőségünk.

A **Maroson** három eltérő jellegű hullámtéri öblözetében vizsgáltuk a területhasználat alakulását (Oroszi és Kiss 2006a). A Makó közvetlen közelében található Csordajárást korábban legelőként hasznosították, amit az 1950-es években szántók és gyümölcsültetvények váltottak fel, majd a 1980-as évektől a makóiak kertjei jelennek meg. Napjainkra a gyümölcsösök eltűntek az öblözetből és a szántó, rét, legelő, valamint a kiskertek uralják keskeny erdősávokkal tarkítva. Zugolyban az 1820-as években még dominált az erdő, amit a szabályozások kivágtak. Ekkortól kezdett kialakulni a ma jellemző kert- és szőlő-kultúra, amit az 1990-es évek után megjelenő nemesnyáras ültetvények törnek meg. A legnagyobb kiterjedésű mintaterület a torkolatnál lévő Vetyehát, amelyet a szabályozások előtt ártéri erdők és mocsarak borítottak, Majd 1953-ban már szántók találhatóak a terület kétharmadán és csupán negyedét borították erdők. Mára azonban mintegy 70 %-a ismét erdővel fedett, ezeknek jó része azonban nemesnyáras ültetvény.

Kontinuitás vizsgálataink az egyes tájfoltok állandóságát mutatják: mindhárom öblözetben a legkevesbé bolygatott területek a töltéseket szegélyező kubikgödrök és az ott található erdők.

A hullámtér érdessége az elmúlt ötven évben egyértelműen csak a Vetyeháton nőtt, míg a másik két mintaterületen az eltérő területhasználati kategóriájú foltok változatossága miatt ez egyértelműen nem jelenthető ki.

A **Tisza** mindszei árterén a vegetáció okozta érdesség (n) 0,03-0,2 között változik, de a terület átlagérdessége 0,13, ami magasnak mondható (Kiss és Sándor 2008b, 2009). A mintaterület közel 60 % a két legmagasabb érdességi kategóriába esik, s csupán 10 % van 0,035 alatt.

A legnagyobb vízsebesség értékeket (0,56-0,6 m/s) a fűvel borított gátak tövében ($n=0,03$), a tisztán tartott folyóparton (0,53 m/s) de szintén magas vízsebességet mértünk a kis érdességű szántókon (0,46 m/s) és a vízvezető sávokban, mint például földutakon (0,32 m/s).

A sűrű aljnövényzetű nyárerdőkben ($n=0,2$) a vízsebesség jelentősen lecsökkent (0,1-0,15 m/s). Gyakorlatilag nem volt mérhető a vízsebesség a sűrű gyalogakácos állományokban, csak olyan esetekben, ha a vízszlop legalább 1 m-rel magasodott lombkoronájuk fölé. Ilyenkor a felszíni (10 cm-en) mért 0,13 m/s vízsebesség 0 m/s-ra csökkent 70 cm mélyen, de még a bokrok lombkoronája felett. Tehát ezekben a sűrű gyalogakácosokban ($n=0,2$) az érdesség akkora, hogy az árvíz nem képes rajtuk

keresztül lefolyni. Ezért tartjuk fontosnak, hogy a hullámtereket jobban karbantartsák, hiszen gyakorlatilag elvesztik árvízvezető képességük jelentős részét.

Irodalomjegyzék

- Blanka V. – Kiss T. 2006a: Ártérfejlődés és növényzet kapcsolatának vizsgálata a Maros hullámterén (Biogeomorfológia). Tájékológiai Lapok 4/2. 301-308.
- Blanka V. – Kiss T. 2006b: Kanyarulatfejlődés vizsgálata a Maros alsó szakaszán. Hidrológiai Közöny 86/4. 19-23.
- Blanka V. – Kiss T. 2008a. A kanyarulatfejlődés jellegének és mértékének vizsgálata a Hernád Alsódobsza feletti szakaszán, 1937 és 2002 között. Geographia generalis et specialis. Debrecen, 147-154.
- Blanka V. – Kiss T. 2008b. A kanyarulatmintázat befolyásoló tényezők értékelése a Hernád Felsődobsza és Böcs közötti szakaszán. IV. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, Debrecen, 34-40.
- Blanka V. – Sipos Gy. – Kiss T. 2006: Kanyarulatképződés tér- és időbeli változása a Maros magyarországi szakaszán. III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, CD-kiadvány, MTA FKI, ISBN 963-9545-12-0
- Fiala K. – Kiss T. 2006a: Szabályozások hatására megváltozott mederparaméterek vizsgálata az Alsó Tiszán. III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, CD-kiadvány, MTA FKI, ISBN 963-9545-12-0
- Fiala Károly – Kiss Tímea 2006b: A középvízi meder változásai az 1890-es évektől az Alsó-Tiszán II. Hidrológiai Közöny 86/5. 13-17.
- Fiala K. – Sipos Gy. – Kiss T. 2006. Szabályozások hatására bekövetkező morfológiai változások a Tisza és a Maros alsó szakaszán. In Kiss A. – Mezősi G. – Sümegi Z. (szerk): Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. 203-213.
- Fiala K. – Sipos Gy. – Kiss T. – Lázár M. 2007. Morfológiai változások és a vízvezető képesség a Tisza algyői és a Maros makói szelvényében a 2000. évi árvíz kapcsán. Hidrológiai Közöny, 87/5. 37-46.
- Kiss T. – Blanka V. – Sipos Gy. 2009: Morphometric change due to altered hydrological conditions in relation with human impact, River Hernád, Hungary. Z. Geomorph. N.F. 53 Suppl. 2, 197 – 213
- Kiss T. – Fiala K. – Sipos Gy. 2008: Altered meander parameters due to river regulation works, Lower Tisza, Hungary. Geomorphology Geomorphology, 98/1-2, 96-110
- Kiss T. – Sándor A. 2009: Land-use changes and their effect on floodplain aggradation along the Middle-Tisza River, Hungary. AGD Landscape and Environment 3/1, 1-10.
- Kiss T. – Sipos Gy. 2007: Braid-scale geometry changes in a sand-bedded river: Significance of low stages. Geomorphology 84, 209-221.
- Kiss T. – Oroszi V. – Sipos Gy. 2010: Accelerated floodplain aggradation after 19th century river regulation works: case study on River Maros, Hungary. River Research and Management, under review
- Oroszi V. – Kiss T. 2006a: Területhasználat-változás a Maros egy hullámterei öblözetében a XIX. századtól napjainkig. Tájékológiai Lapok 4/2. 309-316.
- Oroszi V. Gy. – Kiss T. 2006b: Üledék akkumuláció vizsgálata a Maros két hullámterei öblözetében a 2005-ös áradások nyomán. III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, CD-kiadvány, MTA FKI, ISBN 963-9545-12-0
- Oroszi V. – Kiss T. – Botlik A. 2007: Accelerated floodplain aggradation since the mid-19th century levee constructions, River Maros, Hungary. Carpatho-Balkan-Dinaric Conference on Geomorphology, Pécs, Abstracts 49.
- Oroszi V. – Sándor A. – Kiss T. 2006. A 2005. tavaszi árvíz által okozott ártérfeltöltődés a Maros és a Közép-Tisza egy rövid szakasza mentén. In Kiss A. – Mezősi G. – Sümegi Z. (szerk): Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. 551-561.
- Sándor A. – Kiss T. 2006a: A hullámterei üledék-felhalmozódás mértékének vizsgálata a Közép- és az Alsó-Tiszán. Hidrológiai Közöny 86/2. 58-63.
- Sándor A. – Kiss T. 2006b: A hullámterei akkumuláció meghatározása mágneses szuszceptibilitás és röntgensugaras mérések segítségével, közép-tiszai mintaterületeken. III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, CD-kiadvány, MTA FKI, ISBN 963-9545-12-0
- Sándor A. – Kiss T. 2007: A 2006. tavaszi árvíz okozta hullámterei akkumuláció mértéke és az azt befolyásoló tényezők vizsgálata a Közép-Tiszán, Szolnoknál. Hidrológiai Közöny 87/4. 19-25.
- Sándor A. – Kiss, T. 2008a. Floodplain aggradation caused by the high magnitude flood of 2006 in the Lower Tisza Region, Hungary. Journal of Env. Geogr. 1/1-2. 31-39.

- Sándor A.– Kiss T. 2008b: A területhasználat változás hatása az üledék-felhalmozódásra, közép-tiszai vizsgálatok alapján. IV. Magyar Földrajzi Konferencia CD kiadvány
- Sipos Gy – Kiss T. 2006a. Fonatos medrű vízfolyások felszín alatti zátonyformáinak osztályozása. III. Magyar Földrajzi Konferencia, Budapest. Abstract kötet (p. 200) és CD-kiadvány ISBN: 963-9545-12-0.
- Sipos Gy. Kiss T. 2006b: A medertágulatok szerepe a síksági folyók morfológiai stabilitásában a Maros példáján. III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, CD-kiadvány, MTA FKI, ISBN 963-9545-12-0
- Sipos Gy. – Kiss T. 2007: Channel pattern and morphological stability on thre Hungarian section of River Maros. Carpatho-Balcan-Dinaric Conference on Geomorphology, Pécs, Abstracts 65.
- Sipos Gy. – Kiss T. 2008. A medermintázatok értelmezése Kádár László kutatásainak fényében. *Geographia generalis et specialis: Tanulmányok Kádár László születésének 100. évfordulójára*, Debrecen, 49-55.
- Sipos Gy. – Fiala K. – Kiss T. 2008. Changes of cross-sectional morphology and channel capacity during an extreme flood event, Lower Tisza and Maros Rivers, Hungary. *Journal of Env. Geogr.* 1/1-2. 41-51.
- Sipos Gy. – Kiss T. – Fiala K. 2007: Morphological alterations due to channelization along the Lower Tisza and Maros Rivers (Hungary). *Geographica Fisica e Dinamica Quaternaria*, 30, 239-247.
- Sipos Gy. – Ilyés E. – Kiss T. 2008. A morfológia, hidrológia és a növényzet hatása a szigetfejlődésre a Maros apátfalvi szakaszán. IV. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, Debrecen, 140-146.