

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
TERMÉSZETI FÖLDRAJZI ÉS GEOINFORMATIKAI TANSZÉK

**Árvizek okozta ártérfeltöltődés vizsgálata az
Alsó-Tisza középső szakaszán**
OTDK DOLGOZAT

Készítette:
Végh Zsuzsanna
I. geográfus MSc szakos hallgató

Témavezető:
Dr. Kiss Tímea
egyetemi docens

Szeged
2015

Tartalomjegyzék

Tartalmi összefoglaló.....	3
Abstract	4
1. Bevezetés.....	5
2. Irodalmi előzmények	7
2.1. Az ártérfeltöltődés okai, befolyásoló tényezői.....	7
2.1.1. Természetes eredetű folyamatok	7
2.1.2. Antropogén beavatkozások.....	9
2.2. Az ártérfeltöltődés mérésének módszerei és mértéke	11
2.2.1. Hosszú távú feltöltődés vizsgálata	11
2.2.2. Rövid távú akkumuláció vizsgálata	14
2.3. A feltöltődés következménye	15
3. Mintaterület	16
3.1. A Tisza vízgyűjtőjének általános jellemzői.....	16
3.2. Növényzet és területhasználat	17
3.3. Emberi hatások.....	18
3.4. A szűkebb értelemben vett vizsgálati terület: a mindszei hullámtér	20
4. Vizsgálati módszerek	22
5. Eredmények.....	24
5.1. A 2013. évi árvíz főbb jellemzői és ártéri hordaléklerakása	24
5.1.1. A 2013-as árvíz és hordalékhozam jellemzése	24
5.1.2. A hullámtéri növényzet jellemzői 2013-ban.....	26
5.1.3. A hullámtéren lerakódott hordalék mennyisége és mintázata	28
5.2. Összehasonlítás a korábbi mérésekkel.....	30
5.2.1. A 2013-as árvíz összehasonlítása a korábbi évek árvizeivel	30
5.2.2. Hordalékhozamok összehasonlítása	33
5.2.3. A hullámtéri növényzet alakulása 2006 és 2013 között	35
5.2.4. A hullámtéri növényzet változása 1998 és 2014 között NDVI alakulása alapján	35
5.2.5. Az üledék lerakódás mintázatának és térfogatának alakulása az elmúlt években	37
6. Összegzés.....	40
Irodalomjegyzék	42
Függelék	46

Tartalmi összefoglaló

Az utóbbi években egyre nagyobb gondot jelentenek az egyre magasabb vízállásokkal tetőző áradások a Tiszán, melyet a vízgyűjtőn, a hullámtéren és a mederben bekövetkező változások okoznak. Ezek közül kiemelkedő a hullámtéri akkumuláció szerepe, melyet számos tényező befolyásol. Céloom a 2013-as árvíz során lerakódott hordalék mennyiségének meghatározása, illetve a feltöltődést befolyásoló növényzeti érdesség és hordalékhozam vizsgálata. Eredményeimet a korábbi kutatások sorába illesztve a feltöltődés időbeli változásait is értékelem.

A Tisza általam vizsgált területe az alsó-tisza-vidéki Mindszent megközelítőleg egyenletes felszínű hullámtéren található. Az előző évi avartakaróra (és egyéb természetes vagy mesterséges objektumokra) rakódott üledék vastagságát 7 hullámtéri szelvény mentén, összesen 148 pontban mértem meg. Az akkumuláció mintázatát digitalizálással, térfogatát digitális domborzatmodell segítségével elemeztem. A hullámtéri növényzet sűrűségét 2006-ban kijelölt kvadrátokban, a fás szárú növények tőszámát és törzsi átmérőjét vizsgálva mértem fel. A korábbi mérési eredményekkel (1998 óta) való összevetéshez Landsat műholdfelvételek alapján kiszámítottam a korábbi évekre jellemző NDVI értékeket is, így a növényzet változásai is összehasonlíthatóvá váltak.

A 2013-as árvíz során lerakódott átlagos üledékvastagság 9 mm volt, mely a vizsgált mintaterületen (170 ha) 15,2 ezer m³ anyagmennyiség lerakódását jelenti. A korábbi időszakok akkumulációjához képest jelentős változás állt be az akkumuláció mintázatában és térfogatában is. Az üledékvastagság izovonalai az eddig tapasztalt (1998-1999, 2000, 2006, 2010) mederrel párhuzamos futás helyett a hullámtér északi területén kiöblösödtek, délebbre pedig közelebb simultak a mederhez. Ez az ártér belsőbb területein csökkenő üledék felhalmozódást jelez. Ennek oka a hullámtéri növényzet sűrűbbé válásában rejlik. A 2006-os állapothoz képest a növényzet sűrűsége 3,6-szorosára növekedett, így a hordalékát szállító víz akadályba ütközik, és a vízsebesség gyakorlatilag nullára csökken. Azonban az áramlás hiánya miatt a hordalék hullámtérre szállítódása korlátozottá válik.

Az árvízszintek emelkedéséhez hozzájáruló hullámtéri feliszapolódás, illetve a növényzet érdességnövelő hatásának csökkentése céljából fontos lenne a hullámtér megfelelő karbantartása, illetve valódi, vízvezető funkciójának a figyelembe vétele. Mivel a hullámtéren elszaporodó özönnövények a jövőben tovább fokozhatják a hullámtéri érdességet, az árvizek szintjének további emelkedése prognosztizálható.

Abstract

The higher water levels of floods on the Tisza River are increasing problems in the last years. The causes of them are the changes of the channel, the floodplain and the catchment. One of the most important process is the floodplain accumulation. In this study the main objective was the determination of the amount of river drift and the investigation of the floodplain vegetation in 2013. The last part of my study was comparing my new datas with former studies.

The study area is an almost flat floodplain around Mindszent in the Lower Tisza. The sediment was measured over the last year dead fallen leaves layer on seven segment and 148 points. The pattern of accumulation was analyzed with digitalization and the volume was estimated with DEM. The areas of interest were the same as in the first (2006) study for the vegetation investigations, where the stem counts and diameters was collected. For comparing datas I used Landsat satellite images and estimated NDVI values.

The average sediment thickness was 9 mm in 2013. This is 15 200 m³ on the 170 ha area. It is a remarkable change compared to previous years. The isolines of the sedminet thickness was parallel with the channel in 1998-2010. In 2013 the lines changed: they turn to almost perpendicular to the channel in the northern part of the floodplain. The lines got narrower in the southern region. The amount of the vegetation increased by 3,6 times. It restrained the flow and the velocity get almost zero. However the lack of flow restict the sediment transportation to the floordplain.

In my opinion the maintaining of the floodplains is very important because the previously said problems. The invasion species can raise the roughness of the floodplain. Probably the further floods can be higher.

1. Bevezetés

Az évről-évre emelkedő vízállásokkal jelentkező áradások egyre nagyobb gondot jelentenek a Tiszán. A rekord vízszintekért a vízgyűjtőn, a hullámtéren és a mederben bekövetkező változások együttesen felelősek. Az árhullámok vízszintjét lokálisan emelheti például a folyómeder és hullámtér csökkent vízszállító képessége, a mederszűkületet okozó duzzasztóművek és partbiztosítások, a nyári gátak, a hullámtéri növényzet keresztmetszet csökkentő hatása, valamint az ártéri akkumuláció.

Dolgozatomban a hullámtéri akkumuláció vizsgálatát tűztem ki célul. Ezt rendszer-szinten vizsgálva megállapítható, hogy az adott területre jutó hordalék mennyiségét a felsőbb szakaszokról és a vízgyűjtőről érkező hordalékszállítás határozza meg, de lerakódásának mértékét és mintázatát már helyi tényezők befolyásolják. A vízgyűjtő éghajlata, domborzata, morfológiája, növényborítottsága és területhasználata, valamint a folyó vízhozama, vízsebessége és vízmélysége alapvetően meghatározza a hordalék termelődésének mennyiségét és elszállíthatóságát. Az akkumulációra döntően lokális, a hullámtéren és mederben zajló folyamatok vannak jelentős hatással. Az ártéri akkumulációban lényeges tényező a folyómedertől való távolság, a vízborítás időtartama és a vízoszlop magassága, a meder futása, a hullámtér morfológiája és növényzete. Ezekhez a hatásokhoz adódnak az antropogén beavatkozások okozta változások. A XIX. századi folyószabályozás drasztikusan megváltoztatta a korábbi környezeti feltételeket, hiszen az árvízvédelmi gátrendszer létrehozásával jelentősen leszűkítették a folyó aktív árterét. A Tisza külső ívén partbiztosítások kialakításával a mederkeresztmetszetben is számottevő változásokat idéztek elő. A mederben továbbá egyéb mesterséges építmények (híd, duzzasztómű, nyári gátak) kialakításával okoztak további lokális környezeti változásokat.

A vizsgálat során az alábbi kérdésekre keresek választ:

- Hogyan vonult le a 2013-as árvíz és mi jellemezte? Mi jellemezte a 2013-as év hordalékhozamát? Miben tért el a 2013-as árvíz a korábbi évek árvizeitől (1998, 1999, 2000, 2006, 2010) képest?
- Milyen vastag üledékréteg rakódott le a 2013-as árhullám következtében a vizsgált hullámtéren? Az üledék felhalmozódás milyen térbeli mintázatot vett fel?
- Az elmúlt évek során hogyan változott a lerakódott üledék mennyisége? Korábbi mérésekkel összehasonlítva milyen változások következtek be, és milyen módon változik a feliszapolódás iránya? Változás esetén mi lehetett a változást kiváltó és befolyásoló tényező?

A célkitűzésben feltett kérdések megválaszolásához a hullámtéri akkumulációt részletesen vizsgáltam a Tisza mindszei szakaszán. A mérés Sándor (2011) méréssorozatához illeszkedik, annak folytatásának tekinthető. Azonban a korábbi mérési eredményekkel összevetve új ártérfejlődési irány rajzolódik ki, ha figyelembe vesszük a feltöltődés mértékét, mintázatát és a növényzet térnyerését. Mivel az eredményeim egy árvizet reprezentálnak, ezért további árvizek vizsgálata szükséges a jövőben, hogy bizonyosságot szerezzünk erről az új fejlődési irányról. Kiemelendőnek tartom, hogy bár az egy-egy árvíz okozta feltöltődés vizsgálata a rövidtávú mérések közé tartozik, ezen a mintaterületen már aligha mondható rövidtávúnak, hiszen 1998-tól rendelkezem a mindszei hullámtér feltöltődéséről adatokkal, ami összesen hat évnél felmerést jelent 1998 és 2013 között. Eredményeim segítségével szeretném felhívni a figyelmet a hullámtéri akkumuláció fontos szerepére az árvizek vízszintjének befolyásolásában, és szeretnék rámutatni arra, hogy a hullámterek karbantartása fontos részfeladata az árvízvédelemnek.

2. Irodalmi előzmények

Dolgozatomban először bemutatom az ártérfeltöltődést befolyásoló természetes és antropogén tényezőket (kiemelve a Tiszán, illetve az Alsó-Tiszán mért kutatási eredményeket), majd a feltöltődés mérésének lehetséges módszereit. Mivel hazánkban és a határon túli folyókon is zajlottak már hasonló mérések, ezeket is áttekintem, hiszen így van lehetőség az eredmények összevetésére.

2.1. Az ártérfeltöltődés okai, befolyásoló tényezői

Az ártér feltöltődéséhez különböző természetes, valamint antropogén eredetű folyamatok is hozzájárulnak. A továbbiakban ezen felosztás szerint részletezem az akkumulációt kiváltó, illetve befolyásoló tényezőket.

2.1.1. Természetes eredetű folyamatok

Ártérfeltöltődés szempontjából rendkívül fontos a folyó hordalékszállításának mennyisége. Ennek alakulásában fontos szerepet játszik az éghajlat változása, a területhasználat változása, a tömegmozgásos folyamatok, illetve a folyószabályozás. Ezt nevezzük input-szabályozásnak (Sándor 2011). Az akkumuláció másik alapvető meghatározója a szállított hordalék csapadázódásának hatékonysága és térbelisége. Ez függ az ártér, illetve a hullámtér morfológiájától, a folyótól való távolságtól, a növényborítottságtól, az ártér domborzati viszonyaitól, az ártérre jutó víz hordalékhozamától, áramlási viszonyaitól, különböző antropogén beavatkozásoktól. Ezt output-szabályozásnak nevezzük (Sándor 2011).

2.1.1.1. Hordalékhozamot meghatározó folyamatok

A gátak közt felhalmozódó üledék származhat a vízgyűjtőről, illetve a meder és a folyópart eróziójából (Kiss et al. 2004). A hordaléktermelés szempontjából a legmeghatározóbb maga a vízgyűjtő terület. A vízgyűjtő klímája meghatározza a csapadék térbeli eloszlását és intenzitását, valamint a hordalék-termelődési folyamatokat (mállás és aprózódás, a felszín lepusztulása, a hordalék szállítása). Hazánkban a csapadékeloszlás szélsőséges, így előfordulhatnak olyan időszakok, amikor az átlag többszöröse hullik le rövidebb időszak alatt (Rakonczai 2011), ekkor jelentős mennyiségű anyag mosódhat a vízfolyásokba. A hordaléktermelésben és szállításban fontos a vízgyűjtő reliefe, morfológiai sajátosságai, alakja, felépítő kőzetei, illetve növényborítottsága (Balogh et al. 2005). Mivel ezek a tényezők a vízgyűjtőn belül térben és időben is változnak, minden árvíz különböző mennyiségű hordalékot szállít. Például a tavaszi jeges ár több hordalékot

szállít a vízgyűjtő ritkább növényzete miatt, mint a nyár eleji zöldár (Kiss et al. 2011). Az ember beavatkozása során kialakult területhasználat változás (erdőirtás) és a folyószabályozás illetve csatornázás is megnöveli lefolyást, aminek a következtében a folyó több hordalékot szállíthat (Balogh et al. 2005), illetve a növényzet gyérülésével a lejtőmegkötési képessége csökken, ami fokozott lefolyás és erózió, illetve omlások és csuszamlások okozója lehet (Lászóffy 1982).

A folyó hidrológiai jellemzői is jelentősen befolyásolják a hordalék mennyiségének változását. Ide tartozik a vízhozam, a vízsebesség és a vízmélység. A nagyobb vízsebesség és vízmélység ugyanis megnöveli a folyó hordalékszállító képességét (Balogh et al. 2005). A gátak közé szorított víztömeg növekvő hatása okozta bevágódás is többlet hordalékot termel (Schweitzer et al. 2002). A kanyarulat továbbfejlődése révén is nagy mennyiségű hordalék termelődhet a partok eróziójával (Nagy et al. 2001). A bevágódott és szűk mederszakaszok mentén bekövetkező omlások és csuszamlások (1. ábra) kisvizek idején juttatnak további hordalékot a mederbe (Kiss et al. 2002, Sándor és Kiss 2007,).



1. ábra Szeletes csuszamlás a Tisza partján Mindszentnél (saját fotó, 2013)

2.1.1.2. Lerakódott hordalék mennyiségét meghatározó folyamatok

A folyóban szállított hordalék a mederben, illetve árvízkor az ártereken rakódik le, azonban a feltöltődés mértéke időben és térben is eltérő. Az ártér akkumulációjában a legmeghatározóbb tényező a folyómedertől való távolság. A folyótól távolodva exponenciálisan csökken az ártéri akkumuláció mértéke, illetve a szemcsék átmérője (Oroszi 2008, 2009). A partokon rakódik le a legtöbb és legnagyobb szemcseméretű hordalék (homok), a partoktól távolodva pedig egyre finomabb szemcséjű (agyag-iszap) és egyre vékonyabb réteg jellemző (Kiss et al. 2011). Mivel a vízborítás hossza és a vízoszlop magassága is alapvetően meghatározza a feltöltődést ezért a

magasabb domborzati formákon (pl. övzátony, folyóhát) kevesebb üledék rakódik le, míg a mélyebb képződmények (holtágak, mocsarak, kubikgödrök) nagyobb mennyiségű hordalék csapdázására alkalmasak (Schweitzer et al. 2002). Ugyanis minél több idő áll rendelkezésre, annál több hordalék tud lerakódni az adott helyen. Ilyen hordalékcspadázásra alkalmas helyek például a különböző természetes és mesterséges mélyedések a hullámtéren, ahol visszamarad a víz azután is, miután a folyó már visszahúzódott medrébe (Nagy et al. 2001, Kiss et al. 2004). Ezt azonban felülírhatja a medertől való távolság (Sándor 2011). A meder futása is az akkumuláció alapvető meghatározója, ugyanis a kanyarulatok külső ívén (folyóhát), illetve a belső ívén (övzátony) sokkal jelentősebb a feltöltődés, mint az egyenes szakaszok mentén, ahol keskenyebb sávban akkumulálódik az üledék (Oroszi 2008). Nagy et al. (2001) a hullámtér különböző felszínein az eltérő lerakódást a hosszukban és magasságukban különböző elöntések eltérésével magyarázza.

A feltöltődés befolyásolásában egyre nagyobb szerepet kap az ártéri növényzet. A Tisza hullámtereit legfőképp tájidegen, agresszívan terjedő özőn fajok teszik áthatolhatatlanná. Ilyen özőn faj például a gyalogakác, a zöldjuhar, a süntök és a vadszőlő. A sűrű növényzet egyrészt vízkiszorítása révén csökkenti a hullámtér vízszállító képességét, másrészt növeli az érdességet, ami a megnövekedett sűrűlódás miatt csökkenti a vízsebességet (Sándor és Kiss 2007). A lecsökkent sebességű vízből ezáltal a hordalék lerakódását segíti elő. Sándor és Kiss (2007), valamint Oroszi et al. (2006) a legnagyobb üledékvastagságot többnyire a bolygatatlan, idősebb állományú, ritkább aljnövényzettel rendelkező erdőkben mérték, ahol nagyobb vízsebesség volt jellemző.

2.1.2. Antropogén beavatkozások

Az ártérfeltöltődés problémájának megjelenése hazánkban egyértelműen a XIX. századi ármentesítésekig és folyószabályozásokig vezethető vissza, amikor az árvízvédelmi gátrendszer megépítésével erőteljesen leszűkítették az alföldi folyók életterét, és a folyókanyarulatok átvágásával a folyók hosszát akár harmadával csökkentették, ezáltal megnövelve a folyók esését (Schweitzer 2001). Feltöltődés a szabályozást megelőző időkben is jellemezte az Alföldet, azonban jóval kisebb mértékben. Például az Alsó-Tisza-vidéken a holocén során 0,39 mm/éves ütemű feltöltődést mértek (Kiss és Hernesz 2013). Természetes állapotukban a folyók több tíz km-es sávban rakták le hordalékukat, azonban a szabályozások következtében az ártér szélessége 1-5 km-re csökkent (Kiss et al. 2011). Így a jelenleg szállított hordalék sokkal szűkebb helyen rakódik le, tehát az ártéri akkumuláció mértéke felgyorsult. Kiss et al. (2002) mérései szerint az Alsó-Tiszán az hullámtéri átfolyási szelvény területe 1998-2001 közt a feltöltődés miatt 1%-al csökkent, míg Gábris et al. (2002) mérései szerint a Tiszadob–Tiszaszederkény közti szakaszon az átfolyási szelvény 5-16%-os csökkenést mutat. Részben ennek következménye, hogy a szabályozások óta az árvizek

szintje megemelkedett, bár a meder is változott, amit a kisvizek vízszintjének csökkenése és az áradások időtartamának lerövidülése mutat (Kvassay 1902). Nagy et al. (2001) szolnoki vízhozam mérések alapján vizsgálta a vízszintemelkedés mértékét. Megállapították, hogy 1970-es árvízhez képest egy méterrel magasabb vízszint társult az ugyanolyan vízhozamú ár levonulásakor. A 2000-es és 2006-os években a vízszintváltozás további erőteljes növekedést mutat.

A vízszintemelkedésben szerepe van a mederkeresztmetszet antropogén hatásra bekövetkező jelentős változásának is. A Tisza külső ívén az 1930-as évektől partbiztosításokat építettek, hogy megakadályozzák a part további pusztulását (Kiss et al. 2011). Ennek köszönhetően a partbiztosítások előtti 6 m/év-es mértékű partpusztulás, 1976-1999 közt 0,8 m/év-re csökkent (Fiala és Kiss 2006). Az Alsó-Tisza-vidék menti folyószakasz 51,4%-át érinti a beavatkozás (Fiala és Kiss 2006). A beavatkozás során a stabilizált külső oldallal szemben azonban a domború partél tovább épül (Fiala és Kiss 2004), mely ezáltal keresztmetszet-szűkülést és medertorzulást (V-alakú meder) okoz (Fiala és Kiss 2005, Fiala és Kiss 2004). Mindszenten a mederszűkülés 1842 óta átlagosan 0,2 m/év (Kiss et al. 2011).

A szűkülést némiképp ellensúlyozza a folyó megnövekedett vízmennyiségének medermélyítő hatása, ami a kisvizek szintcsökkenésének legfőbb okozója (Rakonczai 2011). Károlyi (1960) a kisvizek szintjének csökkenése alapján 1842 és 1957 között Mindszentnél összesen 270 cm-es bevágódást állapított meg, ami évi 2,35 cm/éves medermélyülést jelent. Fiala és Kiss (2005) alsó-tiszai mérései szerint 1890-hez képest napjainkban a meder 5-45 %-al mélyült, ennek ellenére néhány szelvény területe 4-21 %-al csökkent (antropogén beavatkozásoknál). A medertorzulás következtében egyre élesebb kanyarulatok alakulhatnak ki, amelyek lelassítják az árvizek levonulását (Kiss et al. 2011), ami véleményem szerint elősegítheti a további gyors hullámtér-feltöltődést. Nagy et al. (2001) szerint az árvízi vízszintnövekedés legfőbb oka a folyómeder és a hullámtér csökkent vízszállító képessége, amelynek eredményeként a keskeny szakaszokon gyakran a vízhozam 10%-a sem szállítódik már a hullámtéren, ami véleményem szerint viszont lassíthatja a hullámtér-feltöltődést.

A hullámtéri akkumulációt azonban egyéb mesterséges építmények is befolyásolhatják. A töltéssel megerősített hídfők árnyékoló hatása miatt áramlási holtterek alakulhatnak ki, miközben az átfolyási szelvény területe szűkül (megnö a vízsebesség), ami kis területen befolyásolhatja az akkumuláció mértékét (Sándor és Kiss 2007). A folyón létrehozott völgyzárógátak és duzzasztók megemelik a közép- és kisvíz szintjét, ezáltal az érkező ár hullám magasabb vízszintre érkezik (Bezdán 2011). Hatásukra a felvízi szakaszon a lelassuló vízsebesség miatt nőhet az akkumuláció mértéke, ugyanakkor az alvízi szakaszon a nagyobb vízsebesség hatására csökken. Kozák és Rátky (1999), valamint Nagy et al. (2001) szerint a nyári gátak a hullámtér keresztmetszetének

csökkentésével hozzájárulnak az árvízszint emelkedéséhez, illetve csökkentik az ártérre kijutó hordalék mennyiségét, azáltal hogy felfogják a kisebb áradásokat (Schweitzer et al. 2002). Például az 1999-2000-es években az árhullám lefolyásának akadályozásával kritikus árvízi helyzetet teremtettek (Balogh et al. 2005).

A természetes növényzetet a hullámtér gazdasági hasznosítása jelentősen átformálta, hiszen kertek, szántók és telepített erdők foglalják el a természetes élőhelyeket. Az elhanyagolt területek azonban növelik az érdességet, és akadályozzák az árhullám levonulását, noha Kozák és Rátky (1999) szerint a hullámtér alapvető feladata az ár levezetése, és nem a gazdasági kihasználása lenne. Sándor és Kiss (2008) szolnoki mérései szerint a hullámtéri akkumuláció a területhasználat változása miatt kétszeresére nőtt.

A hullámtér ideális szélessége már a szabályozás során is vitatott volt (Schweitzer 2001). Sándor és Kiss (2007) szerint fontos szerepet tölt be az akkumuláció befolyásolásában, hisz minél szélesebb a gát és a folyómeder közötti terület, annál nagyobb felület áll rendelkezésre a szemcsék lerakódására. Ugyanis a nagyobb felületen a folyó munkavégző képessége hirtelen lecsökken, ezért hordalékát lerakja, ahol azonban beszűkül a folyó ott a megnövekedett vízsebesség miatt kevesebb hordalék tud lerakódni (Gábris et al. 2002). Az árhullám megfelelő levezetésében Nagy et al. (2001) fontosnak tartják a széles hullámteret. Kozák és Rátky (1999) azonos szélesség és vízhozam mellett azonban csak a simább felszínű hullámtér esetében állapítottak meg jelentős vízszintemelkedést (1,25 m).

A folyó menetén is eltérhet az akkumuláció az esés és a mellékfolyók hatása miatt. Például Tiszafüred alatt Szolnokon a vízszint esése megduplázódik (Nagy et al. 2001).

2.2. Az ártérfeltöltődés mérésének módszerei és mértéke

A hullámtéri akkumulációt a kutatók kétféle megközelítés alapján vizsgálják. Egyes hazai szakemberek a folyószabályozás (1846-1908) óta eltelt időtartamra vonatkozó pontszerű méréseket, míg mások 1-1 meghatározott árvíz hatásait mérték több száz ponton végzett mérés alapján (Lóczy és Kiss 2008). Sándor (2011) hosszú- és rövidtávú akkumuláció névvel illeti az eltérő időtartamra vonatkozó méréseket. A nemzetközi kutatások leginkább, az akár több száz évet is magába foglaló hosszútávú akkumuláció vizsgálatára koncentrálnak, bár a legújabb publikációk közt megjelentek a néhány évtizedre vagy egy-egy árvíz akkumulációjára vonatkozó kutatások is.

2.2.1. Hosszú távú feltöltődés vizsgálata

A Tiszadob-Tiszaszederkény közti szakaszon Gábris et al. (2002) a hullámtér keresztmetszetének csökkenése és a gátak közti távolság hányadosával kifejezték az

akkumuláció okozta vízállás emelkedését. Azonban a gátak közti területen előfordulnak természetes (szabályozások előtti ártér mélyedései), illetve mesterséges mélyedések (fok), amelyek befolyásolják az előbbi módszer eredményét, így további mérést igényelnek. A gátak magassága alapján meghatározható az ártér eredeti magassága. Egy egyszerűbb módszer szerint a jelenlegi hullámtér átlagmagasságából kivonták a gátakon túli terület átlagmagasságát, így megkapva egy átlagos feltöltődési értéket (0,15-0,59 m/100 év). Vass et al. (2009) ugyancsak geoinformatikai módszerekkel (digitális domborzatmodell) a gátak által elválasztott két térszín magasságának eltérését vette alapul az elmúlt 110 év során lerakódott hordalék meghatározása végett a Felső-Tisza beregi szakaszán. A folyásiránynak megfelelően lefelé haladva csökken a folyó esése, ezért a lerakódott üledék mennyisége is csökken (Vágás: 1 cm/év, Szilvás-szeg: 0,8 cm/év, Boroszló-kert: 0,54 cm/év, Foltos-kert: 0,2 cm/év).

A szemcsék mágneses tulajdonságait veszi alapul a mágneses szuszceptibilitás módszere. Használata során meghatározható a szemcseösszetétel, szervesanyagtartalom, antropogén szennyeződés, illetve a mágneses ásványok mennyisége. Valamilyen kormeghatározó módszerrel együtt alkalmazzák, mely során hozzárendelik a rétegek lerakódásának korát és a mágneses szuszceptibilitás profilját a szelvényhez. Kiss et al. (2004) a Tisza (Mártély) és a Maros (Makó) feltöltődését vetette össze különböző mintavételi pontokon. A hullámtér akkumulációjának átlagos sebessége a tiszai övzátonyon 0,8 cm/év, a Maroson 0,25 cm/év, a hullámtéren 0,3 cm/év (Tisza), illetve 0,6 cm/év (Maros).

Nehézfémtartalom (Cd, Cu, Pb, Zn) vizsgálatával is különíthetők el rétegek. Ha a nehézfém szervesetlen vagy szerves anyaghoz kötődve akkumulálódik, és nem éri áthalmozás akkor a minta ezáltal értékelhetővé válik (Kiss et al. 2004). A Maroson végzett vizsgálatok során Kiss és Sipos (2001) megállapította, hogy a medertől távolodva mértéke csökken, illetve a mélyebb fekvésű helyeken és a finomabb üledékekben nagyobb a koncentrációja. A gyakorlatban spektrofotometriás módszerrel határozták meg a nehézfém tartalmat a mintákban (Kiss et al. 2004). Sándor és Kiss (2006) három különböző ártéri ponton (szabályozások előtti épülő övzátony, mindenkor ártér, kanyarulat átvágás melletti pont) elhelyezett kutatóárokból vett minták nehézfém tartalma, illetve a tartalmazott domináns szemcsefrakció alapján marker rétegeket határoztak meg Szolnoknál a Millér-főcsatornánál és a Mártélyi Tájvédelmi Körzetben. Méréseik során ehhez a réteghez viszonyították a szabályozások óta akkumulálódott üledék vastagságát. A közép-tiszai mintaterület (Szolnok) hullámtérén 0,8 cm/év (1858-2003), a part közelében 0,6 cm/év, (1890-2000) átlagos feltöltődést mért. A wisconsini Blue folyón fémmarkerek segítségével a 19. század elejétől évi 0,5-15,8 mm-t

mért Lecce és Pavlowsky (2004). Az intenzív bányászat idején a feltöltődés gyorsabb ütemet vett fel.

Az 1950-es és 1960-as atomrobbantások, illetve a 1986-os csernobili katasztrófa által kibocsátott cézium 137-es izotópja ugyancsak alkalmas markerrétegnek bizonyulhat. Az ezt követő időszak során akkumulálódott üledék korának és mértékének definiálására alkalmas. Kiss et al. (2004) tapasztalatai alapján azonban ez a módszer a cézium mobilizálhatósága miatt ármentes vagy egyenletesen vízborított területen alkalmas. Nagy-Britanniában Collins et al. (1997) a Severn és Exe folyón, Walling et al. (1998) az Ouse és Wharfe folyón vizsgálta a feltöltődést, a ^{137}Cs markerréteg segítségével. A Severn folyón 1963-tól átlagosan évente 0,61 cm-t, az Exe folyón 0,91 cm/év feltöltődési ütemet mértek. Ugyanezen módszerrel 1954/63 óta 0,23-0,52 cm/év volt a feltöltődés mértéke az Ouse és Wharfe folyón.

Botanikai felmérések adatai alapján Kiss et al. (2004) az adventív fajok megjelenését vizsgálva határozták meg a rétegek hozzávetőleges korát. A pollenek továbbá az ártér egykori vegetációjáról adnak tájékoztatást, illetve tükrözik a nagy árhullámok által odaszállított allochton pollenspektrumot is.

Az üledék kora megállapítható korabeli térképek, feljegyzések összehasonlításával is. Oroszi és Kiss (2004) a Maroson (Vetyehát, Zugoly, Csordajárás) korabeli térképek összehasonlításával, pollenanalízissel, továbbá szemcseösszetételi vizsgálatokkal mérték az egykori lefűződött kanyarulatok, morotvák feliszapolódását. Kutatásaik során a durvább homokos üledék jelezte a szabályozás előtti aktív medret. Megállapították, hogy az aktív medertől való távolság függvényében változott a hullámtér átlagos feliszapolódása (Zugoly 1,3 cm/év (450 m-re a medertől), Csordajárás 2,5 cm/év (840 m-re a medertől), Vetyehát 1,8 cm/év (1740 m-re a medertől). Hupp és Simon (1991) Nyugat-Tennessee folyóin dendrokronológiai mérések alapján a századforduló óta átlagosan 0-5,9 cm/év feltöltődést állapított meg.

A folyószabályozás hazánkban drasztikus változást okozott a környezetben, így a rétegek vizsgálata során meghatározhatjuk a szabályozás óta bekövetkezett lerakódást (Kiss et al. 2004). Babák (2006) a folyószabályozás óta eltelt 150 évben a Hármas-Körös (Öcsöd – Kunszentmárton közötti szakaszon) ártérfeltöltődésének átlagos sebességét talajszelvény segítségével állapította meg (1-1,2 cm/év). Szolnoki övzátonyt vizsgálva Balogh et al. (2005) feltételezhetően a szabályozások előtti réti talajra rakódott szürkéssárga réteg vastagsága alapján állapította meg az akkumuláció ütemét. Nagy et al. (2001) azonban az ártéri akkumuláció felmérése céljából övzátonyokat vizsgált Szolnokon. Egy függőleges, 2,5 m vastag bevágásból 0,05 méterenként gyűjtött minták és fényképek, illetve a szemcseösszetétel

vizsgálata alapján rétegeket különített el. Florsheim és Mount (2003) az elmúlt ezer évben átlagosan évente 3-25 mm feltöltődést mért a kaliforniai Cosumnes folyó mentén az üledék vizsgálata során.

Hollandiában azonban OSL kormeghatározást alkalmazott Wallinga et al. (2010) a Waal folyón, ahol a 17. század óta átlagosan 3-8 mm/év-es sebességű akkumulációt mért.

2.2.2. Rövid távú akkumuláció vizsgálata

A legtöbb kutató terepi felmérés során, az előző évi avarrétegre, valamint a mesterséges objektumokra (villanyoszlop) rakódott üledék vastagsága alapján határozta meg a hullámtéri feliszapolódás átlagos mértékét. A spanyol Guadalentin folyón az 1997-es áradás után átlagosan 20-30 cm-t mért Hooke és Mant (2000). Az árvíz előtti és utáni topográfiai felmérés lehetővé tette az összehasonlítást digitális domborzatmodell formájában. Wyzga (1999) a lengyel Skawa, Skawinka és Visztula folyón 1997 nyarán a folyópart közelében maximum 30 cm, a folyóháton átlagosan 15-20 cm, a gátaknál mindössze 0-0,5 cm hordaléklerakódást mért. A nagy-britannai Severn folyón 1998-ban Zhao et al. (1999) 0,7 cm-t állapított meg a folyóparton.

Sándor és Kiss (2006) a közép-tiszai mintaterület (Szolnok) hullámterén 0,8 cm/év (1858-2003), a part közelében 0,6 cm/év, (1890-2000) átlagos feltöltődést mért. Mendszenten ezzel a módszerrel több időszakban is történtek mérések. Kiss et al. (2002) három időpontban (1999, 2000, 2001) történő vizsgálata során megállapította, hogy a folyótól távolodva a lerakódott üledék mennyisége fokozatosan csökken. A vizsgált árvizek átlagosan 2,1 cm üledéket raktak le a hullámtéren. Ezt a módszer alkalmazta Oroszi (2008) is a Maroson (Apátfalva: 2,2 cm, Vetyehát: 1,86 cm) a 2006-os ár hullám által lerakott üledékvastagság mérésénél. Sándor (2011) 2006-ban a Tiszára merőleges keresztszelvények mentén határozta meg a hullámtéri akkumulációt ugyancsak ezen módszer alapján. A szolnoki feketevárosi holtágnál átlagosan 0,37 cm (2005), illetve 0,68 cm (2006), Nagykörűnél 2,44 cm, az alsó-tisza-vidéki Mindszent-Mártély szakaszán 1,98 cm-es hullámtéri akkumulációt állapított meg.

Asselman és Middelkoop (1995) azonban más módszert alkalmazott. A hollandiai Waal folyón 0,82 mm és a Meuse folyón 0,47 mm átlagos üledék felhalmozódást mért 1993-ban mesterséges fűszőnyeggel kialakított üledécsapda felhasználásával. Vass (2014) ugyancsak üledécsapdával (600 cm²-es 10 cm mély műanyag doboz segítségével) mérte 2008 és 2013 közt öt alkalommal az üledék felhalmozódását a Felső-Tisza (Bodrogzug) nyílt árterén. A beregi hullámtér (feltárásfalak, digitális domborzatmodell) és a bodroközi nyílt ártér akkumulációjának összehasonlítása során jelentős eltérésre hívta fel a figyelmet, ugyanis a

hullámtéren a folyótól 1100-1260 m-re 5,8-11 mm/év-es sebességű felhalmozódást mért, ezzel szemben a nyílt ártéren a folyótól 530-1530 m-re csupán 0,02-0,11 mm/év volt a jellemző érték.

2.3. A feltöltődés következménye

Az akkumuláció legfontosabb következménye az árvizek vízszintjének fokozatos emelkedése. A feltöltődés csökkenti a hullámtér keresztmetszvényének területét, ezáltal egyre jobban kiszorítja a levonuló víztömeget. Mivel a gátakat csak időről-időre magasítják, és a vízszint emelkedik, a folyó egy extrém áradáskor túlsordulhat az árvízvédelmi töltéseken.

A feltöltődés morfológiai következményekkel is jár. Oroszi (2009) a Maroson, és Vass (2014) a Felső-Tiszán végzett vizsgálataik során megállapították, hogy az intenzív ártérfeltöltődés következményeként a mélyedések (pl. holtág, kubikgödör) gyorsabban töltődnek fel, ezért egy homogénebb, kiegyenlített felületű hullámtér alakul ki.

Ugyanakkor Nagy et al. (2001) szerint a partokat kísérő övzátonyok (és folyóhátak) egyre magasabbá válnak, így legalább olyan fontos hatásuk van az árvízszint alakulására, mint az akkumulációnak, a nyári gátaknak vagy a növényzetnek. Megfigyeléseik szerint az övzátonyok mögötti mélyedésekben nagy vastagságú agyag-réteg rakódott le. A szolnoki övzátonyon végzett vizsgálataik alapján a partmenti lerakódás 0,10-0,45 m-es vízszint emelkedést is okozhat.

3. Mintaterület

A hullámtéri folyamatok vizsgálatához fontos ismernünk az adott folyót és folyószakaszt meghatározó természeti tényezőket, mint például a területen uraló éghajlatot, a hidrológiai sajátosságokat, a vízgyűjtőn kialakult jellegzetes talajokat és növényzetet, illetve az antropogén beavatkozásokat.

3.1. A Tisza vízgyűjtőjének általános jellemzői

A Tisza 964 km-es hosszával hazánk második legnagyobb folyója (Gábris 2012), hazánk területének fele a vízgyűjtőjéhez tartozik (Vágás 1982). Két forrása közül a Fekete-Tisza az Északkeleti-Kárpátokban ered 1680 méteren a Szvidovec-hegységben, melynek déli lejtőjén jellemző a Tisza vízgyűjtő csapadékmaximuma (Zsámer 1720 mm; Lászlóffy 1982). A Fehér-Tisza 1600 méteres magasságban ered a Máramarosi-havasokban, majd a Fekete- és Fehér-Tisza Rahónál találkozik (Gábris 2012). Kerekded vízgyűjtő területe összesen 157 ezer km²-es területet fed le (Lászlóffy 1982).

Lászlóffy (1982) a Tisza egész vízgyűjtőjét három szakaszra osztotta: a felső-medence a Tisza forrásától a Szamos torkolatig, a középső-medence a Szamos torkolattól a Maros torkolatáig, az alsó-medence a Maros torkolattól a Dunáig tart. Ez a felosztás az egész magyarországi szakaszt egy egységnek tekintette, ezért más felosztás is megjelent, ami csak a hazai területet tagolja. A Felső-Tisza a határvonaltól Tokajig, a Közép-Tisza Tokajtól Tiszazugig, az Alsó-Tisza Tiszazugtól az országhatárig terjedő szakasz (Vágás 1982). A későbbiekben ezt a felosztást fogom alkalmazni.

A vízgyűjtő éghajlatára egyszerre van befolyással az óceáni, mediterrán és kontinentális hatás. A csapadék eloszlása alapján a vízgyűjtő területen négy vízrajzi táj fekszik: az Alföld és hegységperemi része (ahol a csapadék 500-700 mm), az Erdélyi-medence a környező kis medencékkel (600-700 mm), az Erdélyi-szigethegység (900-1100 mm), valamint a Kárpátok fő vonulata a belső vulkáni hegységekkel (1100-1200 mm). A Kárpátok évi csapadék-mennyisége erőteljesen változó, a magasabb zónákban átlagosan 1200 mm, az Alföldön ez az érték 600 mm alatti, de előfordulhat 500 mm alatti éves átlag is, ami gyakran szélsőséges hőmérsékleti értékekkel párosul (Andó 2002). Az Alföldre jellemző 500-600 mm-es érték harmada, negyede egyetlen hónap alatt is leeshet (Rakonczai 2011). Az évi középhőmérséklet is a domborzat jellege szerint változik, az Alföldön 10-11°C, míg a hegyvidékeken csak 6-9°C (Lászlóffy 1982).

Az Alsó-Tiszavidék területén a folyószabályozás során hatalmas kanyarulatokat vágtak át (Pécsi 1969). A hazai szakaszon itt a legnagyobb a folyó mélysége, és itt mérték a legnagyobb a kisvízi vízszint-süllyedést is. Az árvízszint a szabályozások óta Szegeden 310 cm-t emelkedett,

mely a mellékfolyók ár hullámai (Hármas-Körös és Maros) és a Duna visszaduzzasztó hatása következtében jön létre (Pécsi 1969). Azonban ez ritkán alakul ki, ugyanis a Hármas-Körös és a Maros ár hulláma általában megelőzi a Tiszaét, ezáltal létrehozva a tiszai kettős tetőzést (Pécsi 1969). A Tisza átlagos vízhozama Szegednél $820 \text{ m}^3/\text{s}$, de árvíz idején a $3820 \text{ m}^3/\text{s}$ -ot is elérheti¹. A Tisza mellékfolyói közül a Maros szállítja a legnagyobb hordalék- (görgetett hordaléka nagyobb, mint a Tiszaé) és vízhozamot a Tiszába. A Maros tavaszi árvize Szegeden összefuthat a Tiszaéval, mely gyakran rekord magasságú árvizeket okoz (Pécsi 1969). Ez történt 1970-ben is, amikor a Tisza 960 cm-en tetőzött Szegeden (Lászlóffy 1982). Azonban a Tisza is befolyásolja a Maros áradásait, ugyanis másodmaximumot okoz (Lászlóffy 1982).

3.2. Növényzet és területhasználat

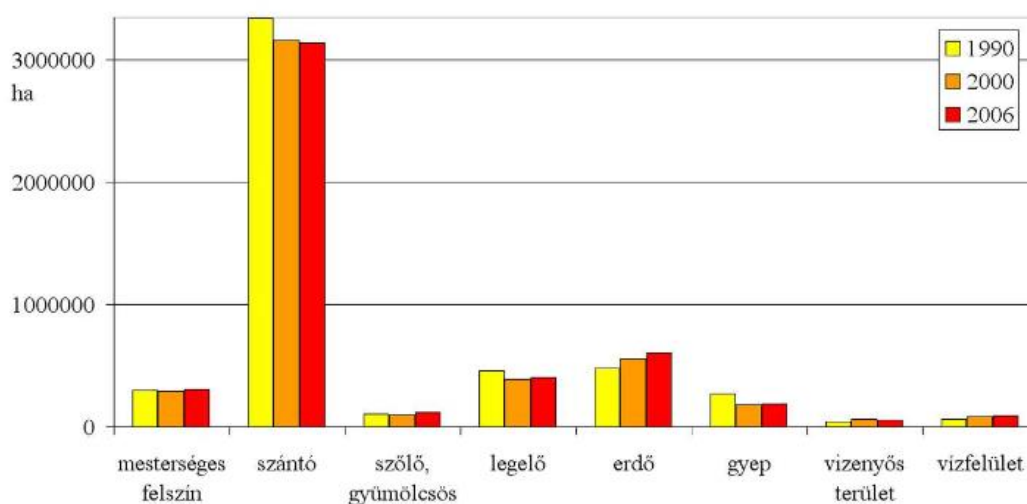
A növényzet fontos szerepet tölt be a vízgyűjtőn zajló folyamatok alakulásában, hiszen védelmet nyújt a talajerózió ellen, vizet raktároz, csökkenti a lefolyási koefficiens, és tavasszal csökkenti a hóolvadás sebességét, mely az ár hullámok szempontjából rendkívül jelentős tényező. Gyökereiknek köszönhetően nő a víz beszivárgásának mennyisége, illetve csökken a felszíni lefolyás (Illés és Konyecsny 2000, Konecsny 2011). A természetes növénytakaró megbolygatása miatt a mély gyökérzetű és dús lombú erdőségeket felváltották a sekély gyökérzetű és szárazságtűrő haszonnövények, amelyek megnövelik a párolgás évi mennyiségét. Az erdősültség csökkenésének következtében a Kárpát-medence vízháztartása és vízjárása az eredeti állapotokhoz képest szélsőségesse vált, megnőtt az aszályra, belvízre és árvízre való hajlam (Szesztay 2011).

Azonban az ártéri növényzet is fontos szereppel bír. Természetes állapotban a folyómeder mentén bokorfűzes sáv jellemző, míg távolabb kiterjedt puhafás (fűz-nyár) ligeterdő, amely évente 2-4 hónapig víz alatt állhat. Ezt napjainkban nagyrészt telepített nemes nyaraktól és nemes fűzekből álló erdőültetvények váltották fel. A cserjeszintben a szeder és a veresgyűrűs som mellett egyre nagyobb szerepet kapnak az özön növények, mint például a gyalogakác, az amerikai kőris és a vadszőlő (Gallé 2003). A hullámtéren kívül, az egykori magas ártéren a keményfás (tölgy-szil-kőris) ligeterdő volt a domináns, kiterjedésük azonban csökkenő tendenciát mutat (Gallé 2003). A csapadékosabb alföldi peremterületeken, a Szatmár-Beregi-síkságon és a Nyírségben a keményfás ligeterdőhöz gyertyános-kocsányos tölgyesek (Lónyai-, és Dédai-erdő) társulnak. A lösz- és homokháton fokozatosan kerülnek túlsúlyba a gyertyános-tölgyesek (Gallé 2003).

A területhasználat az idő előrehaladtával folyamatosan változott. Gábris et al. (2004) az elmúlt 200 év területhasználati változásait három különböző időszak (1783, 1858-1861, 1975-1991) felmérései alapján összegezte. A folyószabályozási munkálatok előtt a magasabban fekvő, ármentes

¹<https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=40>

területeken a települések és a földművelés koncentrált. Összefüggő erdőségek nem voltak jellemzőek ekkor, leszámítva a folyóparti galériaerdőket. Az egykori ártéren a nagy kiterjedésű mocsaras területek, valamint rétek és legelők domináltak, melyet az állattenyésztés és a halászat hasznosított. Az ármentesítések következtében a mocsaras területek eltűntek és a területhasználat átalakult. Az ártér kiszáradása után a szántók fokozatosan terjedtek el az alacsonyabb térszíneken is, mígnem a rét és legelőgazdálkodást felváltotta a szántóföldi művelés (Gábris et al. 2004). A Tisza ármentesítésével az Alföldön egyfajta homogenizálódás következett be (Rakonczai 2011). A hullámteret ma már erdők telepítésével, gazdasági épületek és üdülők kialakításával (Gábris et al. 2004), valamint falusi állattartás színhelyeként hasznosítják (Csorba 2011). Kovács (2011) 2006-os felmérése szerint az Alföld 75%-án mezőgazdasági (szántóföldi) művelés folytatnak (2. ábra). A Tisza mentén az erdősülő árterek a meghatározóak.



2. ábra A felszínfedettség változása az Alföldön (1990-2006) (forrás: Kovács 2011)

Sándor (2011) a mindszei hullámtér jobb és bal partjának érdességi viszonyainak felmérése során megállapította, hogy mindkét parton az erdők dominálnak (jobb parton 85%, bal parton 57%). A bal part esetében az erdők kisebb arányát, a megművelt területek (kiskertek és szántók) térnyerése okozta. Mivel a kertek és szántók aránya 2006-ra lecsökkent, a parlagon hagyott területeket megfertőzte a gyalogakác, tovább növelve ezzel a hullámtér érdességét.

3.3. Emberi hatások

Az antropogén beavatkozások környezet-átalakító hatása Konecsny (2011) szerint már a szubboreális és szubatlanti fázisokban elkezdődhetett. A Kárpát-medencében élő népek már a középkorban árvízvédelmi gátak kialakítására kényszerültek földjeik és településeik védelme érdekében (Andó 2002). A gazdaságban ekkor nagy jelentőséggel bírt a halászat, amely a

folyópartokra, fokokra és tavakra koncentrált. A fejlett vízgazdálkodás során vízimalmok és halastavak kialakításával ekkor még leginkább a vízhasználatra törekedtek, nem a védelemre (Ihrig 1973). A vízkormányzáshoz azonban műszaki munkálatokra volt szükség, például gátak, csatornák, víztárolók építésére, vagy keresztgáttal vagy zúgóval a mederkeresztmetszet szűkítésére (Ihrig 1973). Magas árvíz kialakulása esetében a nagyobb víztömeg úgynevezett fokokon tört magának utat, sík felszínek mélyedéseit elárasztva. Például a Nagy- és Kis-Sárrét számára is egykor így biztosított vízutánpótlást a Tisza (Lászlóffy 1982). Az úgynevezett fokgazdálkodás idővel az ártéri gazdálkodás egyik fontos eszközévé vált (Faludi és Kalocsa 2002).

A XII.-XV. században a mocsaras területek lecsapolása volt a legmeghatározóbb folyamat (Andó 2002). Ármentesítésre ebben az időszakban leginkább a mezőgazdaság térnyerése adott indokot (Ihrig 1973). Az árhullámok elleni védelem kialakításához Mátyás király töltések létrehozására vonatkozó törvénnyel járult hozzá (Schweitzer 2001).

A török hódoltság idejében a folyók hadászati, védelmi jellegű felhasználása vált jelentőssé (Ihrig 1973). A várak körüli elmocsarasítás céljából a folyókat eltérítették, ezáltal negatív hatást gyakorolva a vízi rendszerre (Andó 2002). Az erdőirtás már ebben az időszakban is jelentős volt (Ihrig 1973, Andó 2002), mely ugyancsak a hadászati célú felhasználás számlájára írható (Lászlóffy 1982). Az országnak a hódoltságot követően közel száz évre volt szüksége egy nagyobb szabású folyórendezési terv létrehozásához és kivitelezéséhez (Andó 2002).

Ármentesítés szempontjából meghatározó tevékenység volt a XVIII. századi Mirhó-fok elzárása. Ekkor egy rövid gát megépítésével nagy területeket tudtak sikeresen ármentesíteni (Ihrig 1973). I. Ferenc vízrendező és vízszabályozó társulatokról hozott törvényével 1807-ben megvalósította a szabályozás alapjait (Schweitzer 2001). A Tisza szabályozásának történetében kiemelkedő továbbá Huszár Mátyás tevékenysége, aki rendkívül magas színvonalon végzett vízrajzi felmérést a Körös és a Maros mentén (Ihrig 1973). A Dunát és Tiszát összekötő Ferenc csatorna kialakításával újabb területeket ármentesítettek, valamint lerövidítették a kelet-nyugati vízi szállítás hosszát (Ihrig 1973).

A Tisza-völgyi Társulat létrehozásával, Vásárhelyi Pál tervei alapján 1846. augusztus 27-én megkezdtek a Tisza szabályozását (Schweitzer 2001). A folyórendezési munkálatok során a legfőbb cél az Alföld árvízmentesítése, ezáltal újabb termőföldek biztosítása, valamint a szabályozással a hajózhatóság, az árhullámok gyorsabb levonulásának elérése volt. A folyót töltések építésével szűkebb ártérbe szorították, míg a medret mesterséges mederszakaszok építésével és kanyarulatok átvágásával szabályozták, ezáltal növelve a folyó esését (Schweitzer 2001). Az első átvágást Tiszadob-Tiszaszederkény szakaszon hajtották végre. Vásárhelyi Pál halálát követően Pietro Paleocapa, velencei építészeti igazgató a korábban tervezett 102 átvágás helyett mindössze 15

átvágást támogatott, valamint szélesebb (900-1500 m) hullámteret, illetve nyári gátak létrehozását javasolta (Somogyi 2003, Schweitzer 2001). A végeredmény arra enged következtetni, hogy a töltésezés során Paleocapa, az átvágások során Vásárhelyi elképzelését vették alapul (Somogyi 2003). A szabályozást 1908-ban befejezettnek tekintették, ennek ellenére azóta is történtek beavatkozások (Vágás 1982), például a gátak folyamatos magasítása és a partbiztosítások kiépítése (Lászlóffy 1982, Schweitzer 2001). A szabályozás során kijelölt új mederbe való terelést a Közép- és Alsó-Tiszán kotrásokkal kellett hozzásegíteni (Nagy et al. 2001). A szabályozás során 136 km hosszú új medret és 589 km összhosszúságú holtágakat hoztak létre, az esés pedig átlagosan 3,7 cm/km-ről 6 cm/km-re nőtt².

Jelenleg az árvíz biztonságos levezetését a Tisza mentén 2850 km hosszú védőtöltés rendszer biztosítja. A növekvő árvízszintek miatt azonban szükség van a védelem fokozására. A legideálisabb módszer az esetleges rekord méretű árvizek levezetésére a tározásos-árapasztó-rendszer kialakítása lehet, amely zsilipek segítségével síkvidéki tározókba vezetné el a felesleges víztömeget. A „Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése” (VVT) című koncepció ezt a problémát kívánja orvosolni a jövőben (Gábris et al. 2004, Szlávik és Kling 2004).

3.4. A szűkebb értelemben vett vizsgálati terület: a Mindszenti hullámtér

A Tisza általam vizsgált bal parti hullámtéri területe az alsó-tisza-vidéki Mindszent mellett, Szegedtől 50 km-re északra található (3. ábra). A hullámtér tengerszint feletti magassága 80 m körüli (Kiss et al. 2002). A hullámtér szélessége a folyó két partján eltér, a (keleti) mindszenti oldalon lényegesen szélesebb (250-700 m), míg a nyugati oldalon a gát 25-500 méterre van a medertől. A mintaterület kanyarulat átvágástól mentes, bár Mindszenttől délre az Atkai- és a Mártélyi-holtágak az átvágások során jöttek létre (Kiss et al. 2002). A meder 51,4 %-a partbiztosításokkal védett, melyek nagy részét 1930-1960 közt építették (Fiala és Kiss 2006).

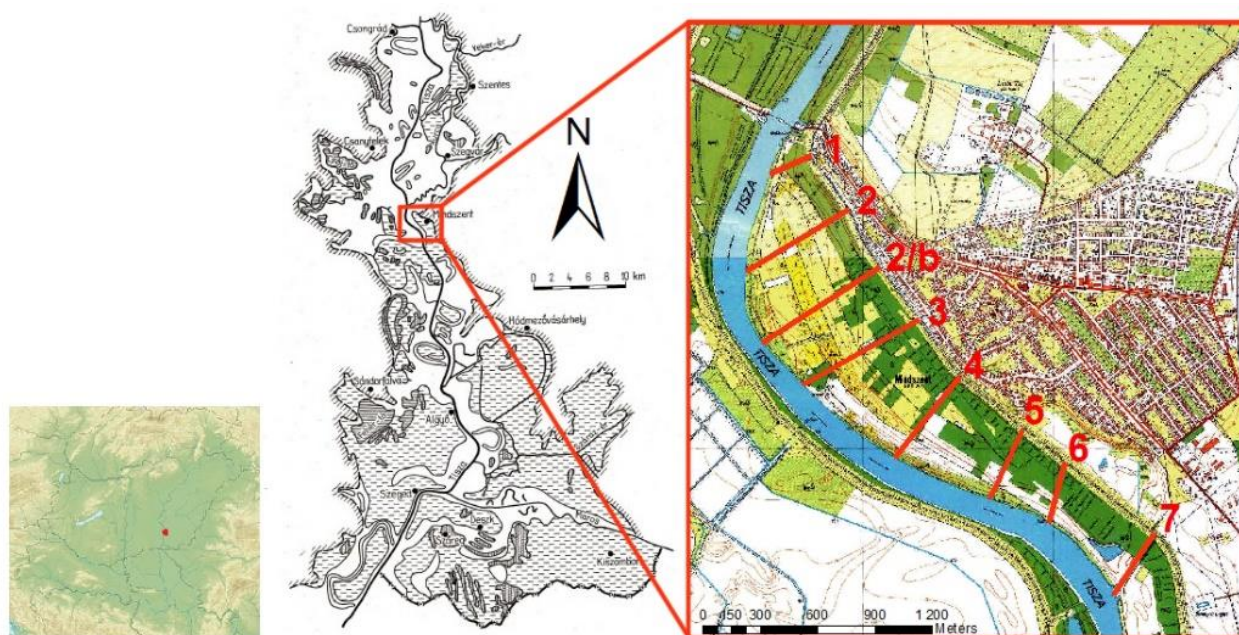
A hullámtér felszíne megközelítőleg egyenletes, mindössze 1-2 m-es természetes és mesterséges kiemelkedések (övezatokok, földkupacok) és mélyedések (sarlólapos, kubikgödrök) teszik változatossá a felszínt (Kis és Lóczy 1985). A kanyarulat épülő, belső íven folyamatos övezatok képződés jellemző. Kiss et al. (2002) mérései szerint a mindszenti strandon 1998-2001 között az épülő övezatok 2 méterrel szélesedett. A pusztuló, külső íven 2-4 m széles és 0,5-1 m magas folyóhátak alakultak ki (Kiss et al. 2002).

A hullámteret sűrűn takarja az ártéri növényzet. A jellegzetes ártéri puhafás ligeterdő (fűz-nyár) mellett az agresszív tájidegen fajok (gyalogakác, süntök, farkasfog, vadszőlő) megjelenése

² <http://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=40>

okoz jelentős problémákat. Mindszent közelsége miatt a hullámtér egy részét beépítették, így nyaralókkal és kiskertekkel is találkozhatunk. A strandtól távolabb nemes nyár erdőket telepítettek.

A Mindszenten az eddigi legkisebb vízállást (-293 cm) 1861-ben mérték (Rakonczi 2011), a valaha mért legnagyobb vízállást pedig 2006-ban (1062 cm), tehát a folyó vízjátéka 1355 cm. Mindszenthez legközelebb Csongrádon (átlagos évi vízhozam 2012-ben 310 m³/s) és Algyőn (átlagos évi vízhozam 2012-ben: 250 m³/s) mérnek víz- és hordalékhozamot (ATVIZIG).



3. ábra A mintaterület és a szelvények elhelyezkedése (képek forrása: Pécsi 1969 és internet³)

³ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/da/Pannonian_Plain_relief_location_map.jpg/300px-Pannonian_Plain_relief_location_map.jpg

4. Vizsgálati módszerek

Az 2013-as árvíz hidrológiai jellemzéséhez az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságtól kapott vízállás, vízhozam és hordalékhozam adatokat elemeztem, majd a 2013-as árhullámot összehasonlítottam a korábbi vizsgálatok (1998-) árhullámaival.

A 2013-as árvíz levonulása után a lerakódott üledék vastagságát a Mindszenti oldalon hét, a Tiszára merőleges szelvény mentén mértük. A szelvények megközelítőleg 100 méterre helyezkednek el egymástól. Ezen szelvények mentén már 1998 óta végeznek méréseket (Kiss et al. 2002, 2004, Sándor és Kiss 2006, Sándor 2011). Az adott szelvények mentén az üledékvastagságot körülbelül 30 méterenként mértük, összesen 148 mérési ponton, minden pontnak rögzítve a GPS koordinátáját is. Az üledék vastagságának megállapításában az előző évi avartakarót vettük alapul, mint jelző réteget (4. ábra). Ahol nem volt lehetőség az előző évi bolygatatlan avartakaró felhasználására, ott egyéb mesterséges (pl. lebetonozott felszín, villanyoszlop) és természetes (fatönk) objektumok felszínén mértük meg a lerakódott üledékréteget. A mérést segítette a friss üledék eltérő színe és szerkezete is, például az iszapréteget könnyen le tudtuk választani az előző évi avarrétegről.



4. ábra Előző évi avarrétegre rakódott friss üledék mennyiségének terepi mérése (saját fotó, 2013.)

A lerakódott üledék mintázatát az ArcGIS 10.2-es szoftver felhasználásával digitalizálva ábrázoltam. A lerakódott üledék térfogatát a felhalmozódási izovonalakból készített digitális domborzatmodell alapján számoltam ki.

A növényzetet a szelvények előre kijelölt pontjain, a korábbi kutatások során is alkalmazott kvadrátokban mértem fel (Sándor 2011), így eredményeim a 2006-os mérésekkel

összehasonlíthatóvá váltak. A kvadrátok mérete eltérő volt, melyet a növényzet jellege határozott meg, hisz a sűrű gyalogakácos esetében korábban (és most is) 1x1 méteres területet mértünk fel, de az öregebb erdőkben 4x4 méteres területet alkalmaztunk. Az eredményeket a korábbi mérésekhez hasonlóan 3 m²-re vetítettük. Az adott kvadrátban megszámláltam a fás szárú növények tőszámát és lemértem a törzsük kerületét, valamint feljegyeztem a kialakult aljnövényzet jellegét.

Mivel nem voltak pontos adatok a hullámtéri növényzet alakulásáról 1998 óta, ezért az adott árvizes év júniusi vagy júliusi Landsat műhold felvételeit is feldolgoztam Erdas Imagine 9.1-es szoftver segítségével. A 7 sáv összerakása, a kép EOVS vetületi rendszerre történő átállítása, majd a mintaterület kivágása után kiszámítottam az egyes időpontokban a hullámtéri növényzet átlagos, minimum és maximum NDVI értékeit. Nulla értéknek a vizet tekintettem. A kapott értékekből, az NDVI értékek és a hisztogram szorzataként megkaptam az adott NDVI értékhez tartozó biomassza produktumot, majd a biomassza produktumok összegeként végül az egész mintaterületen termelődött biomassza értékét.

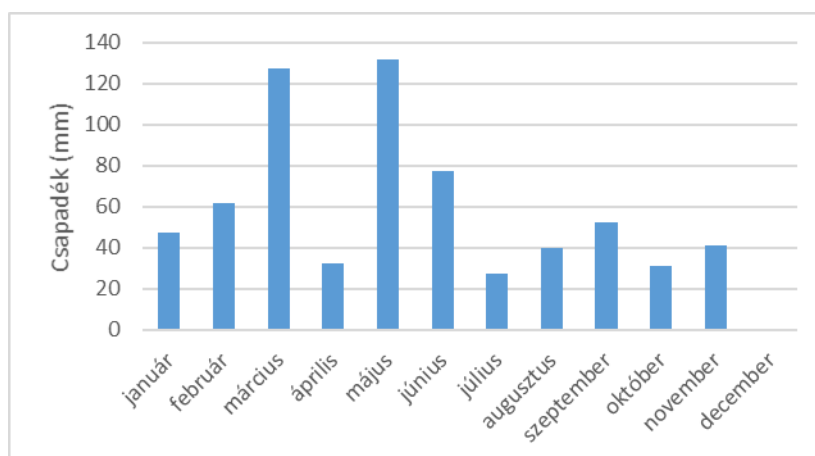
5. Eredmények

Az eredmények bemutatásakor először a 2013-as árvizet és az ebben az évben uralkodó növényzeti viszonyokat jellemzem, mivel ezek együttesen határozták meg a lerakódott hordalék mennyiségét és mintázatát. Az akkumuláció jellemzése után pedig eredményeimet a korábbi vizsgálatok sorába illeszttem, és azok tükrében értékelem.

5.1. A 2013. évi árvíz főbb jellemzői és ártéri hordaléklerakása

5.1.1. A 2013-as árvíz és hordalékhozam jellemzése

A Tiszára jellemző legjelentősebb árhullám általában tavasszal vonul le, és a hegyvidékeken kialakuló hóolvadás és esetleg az ezzel párosuló esőzés váltja ki. Az év további részében jellemzően esőből táplálkozó árvizek alakulnak ki. A vizsgált 2013-as év az átlagosnál csapadékosabb volt, amit jelez a Szegeden mért havi csapadékösszeg alakulása. A területen általában évi 600 mm csapadék jellemző, de 2013-ban ennél kis mértékben több esett, hiszen Szegeden a csapadékösszeg 670,6 mm volt (5. ábra). A csapadék túlnyomó része az év első felében hullott le, hiszen a csapadék 44%-a a tavaszi hónapokban hullott le. Mivel a 2013-as árvíz elindítója a márciusi csapadék volt, ezért a tavaszi hónapok csapadékösszegét a sokévi átlaggal (1971-2000) is összehasonlítottam. Az Alföld déli részén és a Közép-Tisza-vidéken több mint kétszeres volt a különbség, a legnagyobb eltérés a Tisza-tó térségében volt (kb. 2,5-szerese az átlagnak)⁴.



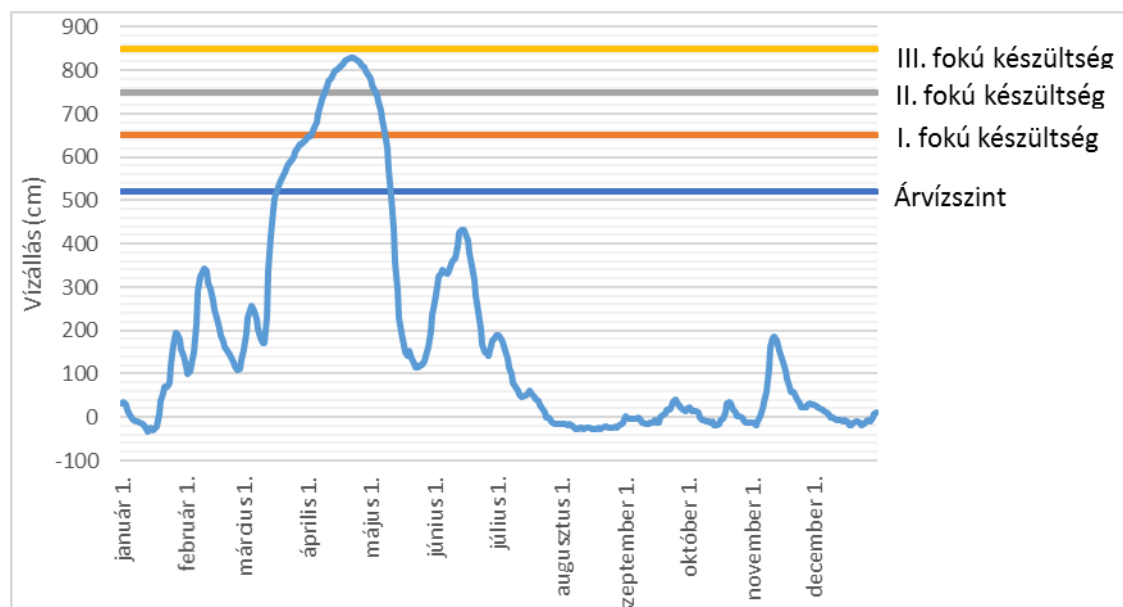
5. ábra A 2013-ban hullott csapadék mennyisége Szegeden (adatok forrása: ATIVIZIG)

A vizsgált 2013-as évben májusban volt a legmagasabb (132 mm), illetve decemberben a legalacsonyabb (0,4 mm) a csapadék mennyisége. Az árhullám kialakulását elősegítette, hogy

⁴http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evszakok_idoj_arasa/main.php?no=5&ful=csapadek

januárban a sokévi átlag kétszerese, míg februárban két és félszerese hullott⁵. Összességében a téli csapadék 2013-ban közel kétszeres értéket ért el a korábbi évek (1971-2000) átlagához viszonyítva.

A tél végi és a tavaszi átlagon felüli csapadék hatására a Tiszán 2013-ban egy jelentősebb árhullám jelentkezett (6. ábra). Az áradás Mindszenten március 17-én lépett ki medréből (520 cm-es vízállásnál). Az első fokú készültségi szintet (650 cm) április 2-án, a másodfokú készültséget (750 cm) már 8 nap múlva, április 10-én érte el. Az áradás átlagos sebessége az első 11 napban 11 cm/nap volt, majd március 28-án lelassult (4,7 cm/nap). A vízállásgörbe április 4-én azonban megtört, az áradás sebessége felgyorsult (13,7 cm/nap). Április 14-én ismét lelassult az áradás (4,7 cm/nap), majd az árhullám április 21-én tetőzött 830 cm-en, így harmadfokú készültségre nem volt szükség. Az ezt követő gyors apadás átlagos sebessége 13,6 cm/nap volt. Az árhullám május 11-én, 55 napos áradás után húzódott vissza medrébe.



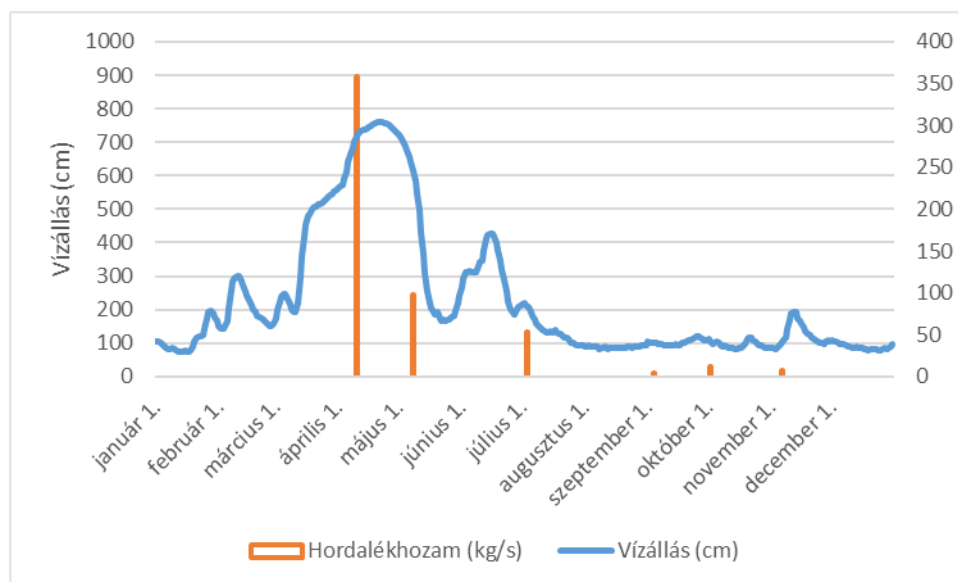
6. ábra A Tisza vízállása Mindszentnél 2013-ban (adatok forrása: ATIVIZIG)

A vízállásgörbén további három jól elkülöníthető, kisebb árhullám is megjelent. Azonban ezek során a Tisza nem hagyta el medrét, ezért ártérfeltöltődés szempontjából nem számítottak. A tavaszi, ártérre kilépő árhullámot megelőzte egy kisebb áradás (342 cm). A kisebb árhullámok közül a legmagasabban (431 cm) a nyár eleji zöldár tetőzött június közepén. Az ezt követő hónapokban (július végétől november elejéig) extrém alacsony vízállásokat mértek, majd az őszi esőzések hatására egy alacsony (186 cm) vízállás növekedés következett be november közepén.

Hordalékhozamot a mindszenti vízmércénél nem mérnek, ezért az elemzés során a szegedi adatokra támaszkodtam (7. ábra). Meg kell jegyezni, hogy Szegednél a Maros jelentős hordalékhozama is hozzáadódik a Tisza hordalékhozamához, de a mintaterületemhez ez a

⁵http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evszakok_idoj_arasa/main.php?no=2&ful=csapadek

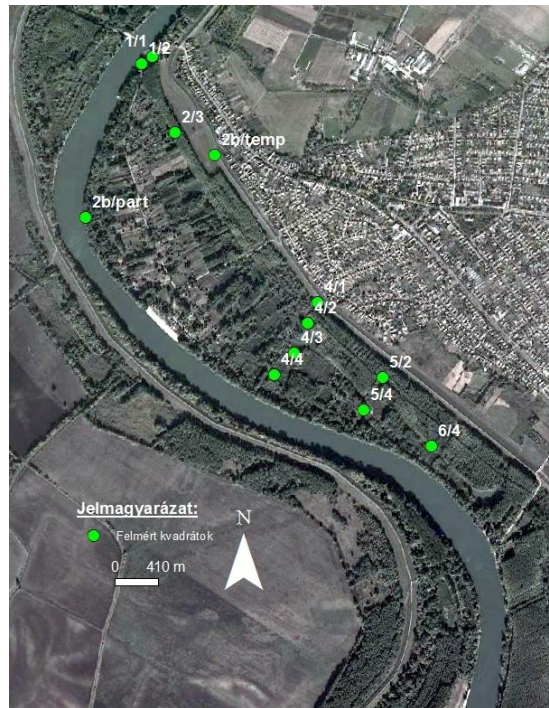
mérőállomás áll a legközelebb, ami adatokkal rendelkezik a 2013-as évről. A kevés számú adat arra enged következtetni, hogy a legtöbb lebegtetett hordalékot a felszálló ágban szállította a folyó (április 10-én 358,3 kg/s), majd az árhullám leszálló ágában már csak ennek 73 %-át szállította a Tisza. Ezt követően hordalékhozam mérések már csak a nyár eleji árhullám levonulása után történtek, de ekkor már töredéke volt (53,4 kg/s) a szállított hordalék mennyisége az árhullám idején mértnek.



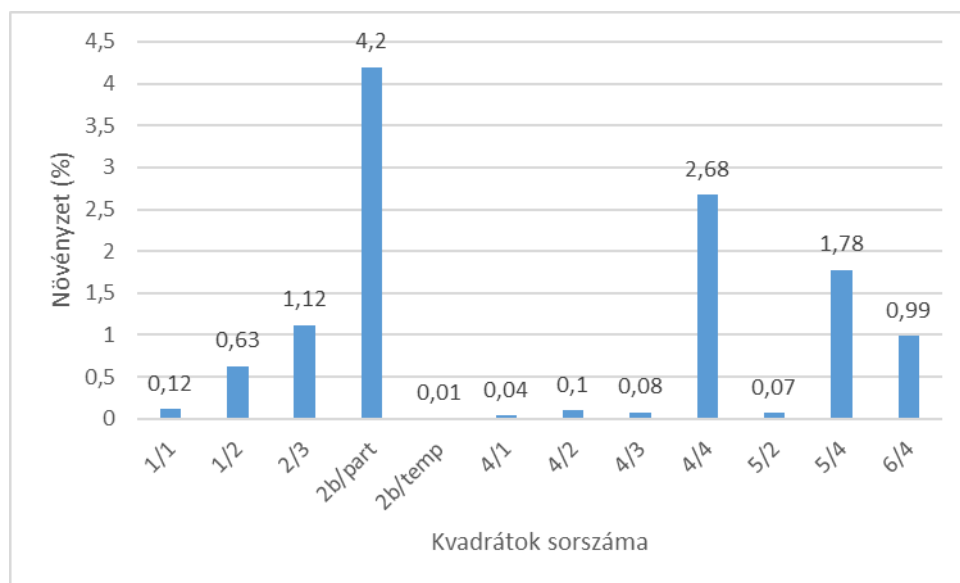
7. ábra A Tisza vízállása és hordalékhozama Szegednél 2013-ban (adatok forrása: ATIVIZIG)

5.1.2. A hullámtéri növényzet jellemzői 2013-ban

A hullámtéren lerakódott hordalék mintázatát a növényzet is befolyásolja, ezért szelvények mentén kvadrátokban feltérképeztük az aktuális növényzetet (8. ábra). A kvadrátok területéből a legnagyobb arányt a 2/3, a 2b/part, a 4/4 és az 5/4 sorszámú kvadrátban mértük (9. ábra). Ezen kvadrátokban a növényzet által elfoglalt terület 1-4 % között változott. Az első szelvény mentén telepített nyaras található, ahol a fák a területnek csupán 0,12 %-át foglalják el. Ennek a kis értéknek az a magyarázata, hogy a fákat szabályos rendben ültették és az aljnövényzet kiirtották. A szelvény Tiszaparthoz közeli részén a vadszőlő már olyan sűrűn benőtte a területet, hogy a kvadrátot minden igyekezetünk ellenére megközelíteni sem tudtunk. A nagy növényzeti borítottságú kvadrátok közül kiemelendő a 2b/part elnevezésű kvadrát, ahol a növényzet magas területarányát (4,2 %) egy 290 cm törzsi átmérőjű nyárfa okozta. A 4/4-es kvadrátban krisztustövis (*Gleditsia*) szaporodott el, míg az 5/4-es kvadrátban több idősebb fa (nyárfa, fűzfa) járult hozzá a növényzet területfoglalásához.



8. ábra Felmért kvadrátok elhelyezkedése a mindszenti hullámtéren



9. ábra A növényzet által elfoglalt terület (%) kvadrátonként 2013-ban

A felméréskor a hullámtérre telepített nyár és fűz mellett rengeteg gyalogakáccal találkoztunk kivétel nélkül minden mérési ponton. Az aljnövényzetet leginkább vadszőlő, süntők, szeder és farkasfog alkották. A hullámtér egyes pontjait rendkívül sűrű növényzet foglalta el (10. ábra).



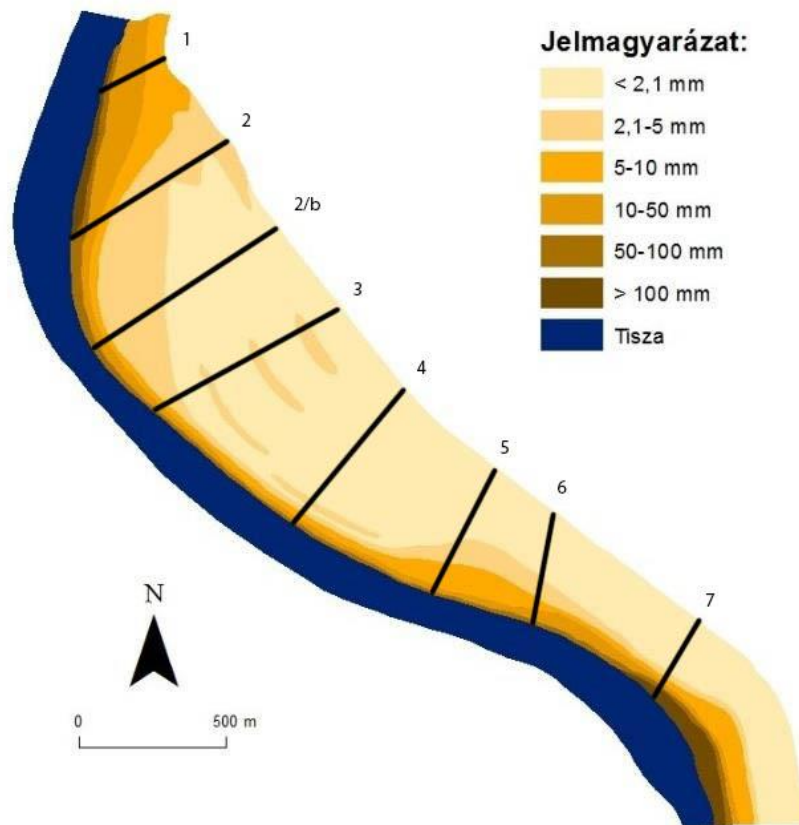
10. ábra Sűrűn benőtt hullámtér (saját fotó)

5.1.3. A hullámtéren lerakódott hordalék mennyisége és mintázata

A 2013-as árhullám során a hullámtéren az akkumulálódott üledék átlagos mennyisége 9 mm, volt, míg a legnagyobb mértékű feltöltődés (75-190 mm) a Tisza partvonalához simuló folyóhátakon és övzátonyon volt jellemző (11. ábra). A legkisebb üledékvastagságot (1 mm alatt) az árvízvédelmi töltésrendszer lábánál mértük. A digitális domborzatmodell alapján kiszámítható, hogy a mintaterületen (170 ha) 15 241 m³ térfogatú üledék akkumulálódott.

Általánosságban elmondható, hogy az üledék vastagsága a folyótól távolodva egyre inkább csökken. Azonban az üledék vastagságát jelző izovonalakban megfigyelhető egy kiöblösödés a mintaterület északi részén, ahol a legintenzívebb átlagos feltöltődést mértük. Itt az 1. szelvény mentén a komp miatt a növényzet gyér, így az árhullám akadálytalanul kiléphetett a hullámtérre és lerakhatta hordalékát. A délebbi, 2-7 szelvények mentén az akkumuláció mértéke jól láthatóan kevesebb, és a feltöltődést jelző izovonalak a parthoz simulnak. A part mentén az akkumuláció kitüntetett helye a folyóhát (6. és 7. szelvény végei) és az övzátony (2. és 4. szelvény végei). A terület túlnyomó részén azonban az 1 mm alatti, hártavastagságú hordalék-lerakódás dominál. A 2. szelvény mentén a 3-4 mm-es értékek a jellemzőek, azonban ennek a szelvénynek az adataira hatással van az 1. szelvénynél tapasztalt kiöblösödése az izovonalaknak. A 3. és 4. szelvények mentén, a hullámtér belső területén általában 1 mm alatti üledék vastagságot mértünk, csupán a partmenti övzátonyon, illetve a belsőbb területeken található természetes és mesterséges mélyedésekben haladta meg a 3 mm-es értéket a lerakódott hordalék mennyisége. Az 5. szelvény

esetében azonban egy fok befolyásolta a lerakódott üledék mennyiségét, ugyanis ezen keresztül akadály nélkül (mélyedés, nincs növényzet), hamarabb juthat be az árhullám a belsőbb területekre is, ezáltal több hordalékot tud beljebb szállítani és ott lerakni a folyó. A 6. és 7. szelvény mentén az akkumuláció a partközeli területekre korlátozódik, a parttól 15 méterre már az 1 mm alatti értékek dominálnak. A 7. szelvény mentén, a folyó partján egy szeletes csuszamlást is megfigyeltünk, aminek lecsúszott felszínén nagymértékű felhalmozódást (20 cm) mértünk, hiszen az alacsonyabb felszínt az ár hamarabb és hosszabb ideig tartotta előntés alatt, így több hordalék rakódhatott le.



11. ábra A 2013-as árvíz által lerakott üledék mennyisége (mm)

Tehát a hullámtér kiszélesedő részén a lerakódott üledék vastagságát befolyásolja a hullámtér szélessége is, hiszen a hullámtér az 1. szelvény után kezd el kiszélesedni, és a szélesebb ártéren lassabb a vízmozgás és kevesebb a bejutó hordalék mennyisége is. Ugyanakkor a sűrű növényzet is felelős a kevesebb hordalék hullámtérre jutásáért, mivel nagy érdességet okoz, és fékezőleg hat az árhullámra: így már a partok mentén lelassítja és a hordalék lerakására kényszeríti. A növényzet szerepét alátámasztja, ha összehasonlítjuk a lerakódás mintázatát a korábbi években mérttel, hiszen az ártér szélessége és magassága 1998 óta nem változott, tehát az új mintázatért a növényzet a felelős (ld. 5.2. fejezet).

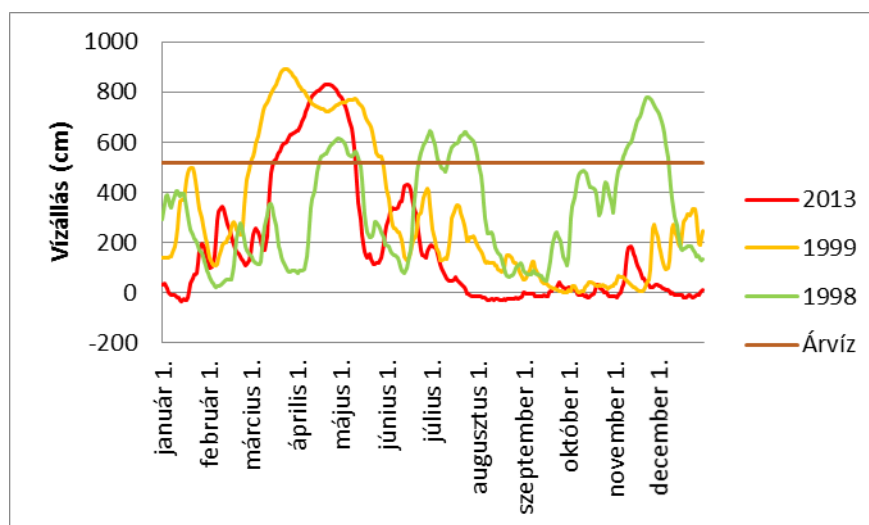
Összességében tehát annak ellenére, hogy az összes szelvény mentén a folyótól való távolság meghatározó a partközeli zónában, a hullámtér belső részeire kevés hordalék jut. Kivételt képez a terület északi része, ahol a ritka növényzet nem gátolta a víz és hordalék mozgását.

5.2. Összehasonlítás a korábbi mérésekkel

5.2.1. A 2013-as árvíz összehasonlítása a korábbi évek árvizeivel

A következőkben azokat az árhullámokat elemzem (1998-2010) a Mindszenti vízmérce adatsorára támaszkodva, amelyek során a mintaterületen akkumulációs mérések történtek. Szlávik (2003) szerint az 1998, 1999 és 2000-es évek árvizei rendkívüliek voltak, bár ez elmondható a 2006-os és 2010-es árvizekről is.

Az 1998-ben a Tiszán három árhullám vonult le (12. ábra). A hegyvidéki hóolvadás miatt kialakuló első árhullám április közepén (04.17.) lépett ki mederből, majd április utolsó napjaiban (04.29-30-án) 613 cm-en tetőzött. Ebben az időszakban az áradás átlagos sebessége 7,8 cm/nap volt. Végül 27 napos áradás után május közepén (05.13.) húzódott vissza. A nyár eleji esőzések által kiváltott zöldár június 23-a és augusztus 1-e között jelentkezett. A vízállásgörbe ebben az időszakban egy kétszcúsú árhullámot ábrázolt. A 35 napos áradás során két alkalommal, június legvégén (06.30: 643 cm) és július közepe táján (07.23: 640 cm) tetőzött a Tisza. Az 1998-as évet az ősz végén és tél elején kialakult, meglehetősen hosszú (11.06-12.7) és magas (11.24: 779 cm) áradás tette szokatlanná. Az áradás átlagos sebessége 14,2 cm/nap volt, majd a tetőzés után a Tisza 18,6 cm/napos átlagos sebességgel apadni kezdett, majd 32 nap után visszahúzódott. A 2013-as évhez képest ezt az évet a jelentékeny tavaszi, a kétszcúsú nyári, de legfőképp az ősz végi-tél eleji, jelentős mértékű árhullám tett kiemelkedővé.

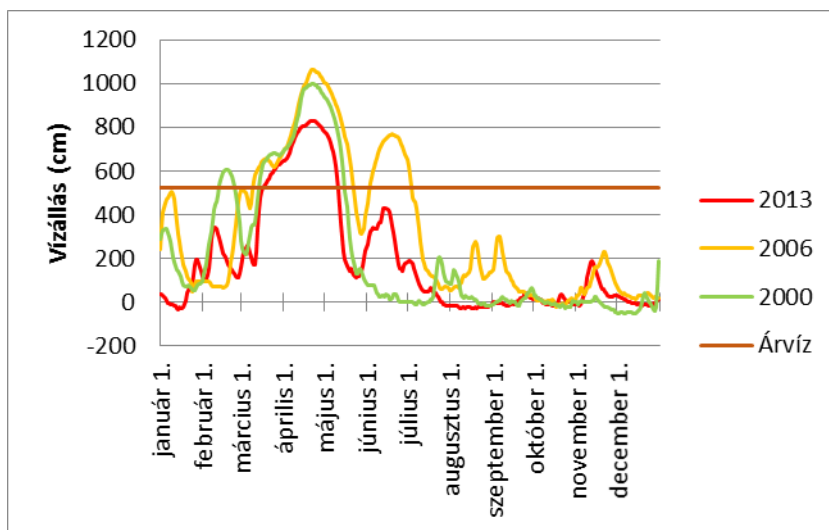


12. ábra A 2013-as év vízállásainak összehasonlítása az 1998 és 1999 évi adatokkal Mindszentrél

(adatok forrása: ATIVIZIG)

Az 1999-es évben heves esőzések hatására (Rakonczai 2011) csupán a tavasz elején fellépő jeges ár okozott árvizet a Tiszán Mindszentnél (12. ábra). Az árhullám kiemelkedően hosszúra nyúlt (05.2.-07.29), összesen csaknem 3 hónapot (89 nap) vett igénybe. Az áradás sebessége március eleje és vége közt elérte a 15,6 cm/napos sebességet. A vízállás március végén (03.25) 892 cm-en érte el a legnagyobb értéket. Ezt követően mindössze egy pár napos apadás (6,1 cm/nap) után egy újabb kisebb áradás indult el, de ennek sebessége lecsökkent csupán 2,8 cm/napra. Május második felében (05.12-29.) az apadás 13,7 cm/nap-os ütemet vett fel. A 2013-as évi áradáshoz képest 1999-ben a tavaszi árhullám időtartama meglehetősen hosszúra nyúlt, illetve a vízállás kétszer is tetőzött.

A 2000-es évben két alkalommal lepte el az árvíz a hullámteret (13. ábra). Február közepén, (02.13-24) egy rövid, 12 napos tél végi árhullám érte el Mindszentet, mely 607 cm-en tetőzött (02.18.). Az áradás sebessége rendkívül gyors volt (19,8 cm/nap), míg az apadás sebessége 13,3 cm/nap mértékű volt. Néhány nappal később, március közepén egy újabb árhullám alakult ki, melynek áradási sebessége elérte az 17,4 cm/napos átlagos értéket. Ezután mindössze 4 napos tetőzés és apadás után ismét egy 14,2 cm/napos vízszint-emelkedésű árhullám futott az előzőre. Április közepén (04.21) a Tisza Mindszentnél új rekord magasságon, 999 cm-en tetőzött. Május közepén, 63 nap után ért véget az árvíz, amikor a Tisza 17,5 cm/nap apadási sebességgel visszahúzódott a medrébe. Ebben az évben a 2013-as évhez viszonyítva magasabban, de közel azonos időpontban tetőzött a tavaszi árhullám, amit megelőzött egy február közepi kisebb áradás is.



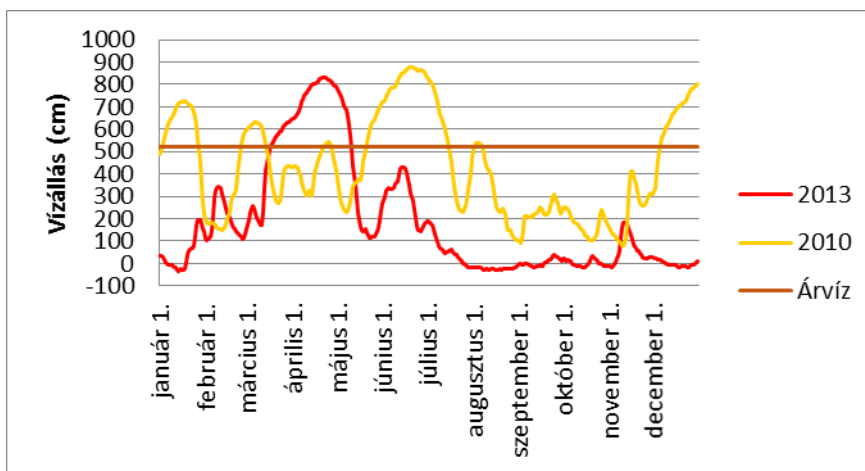
13. ábra A 2013-as év vízállásainak összehasonlítása a 2000 és 2006 évi adatokkal Mindszentnél

(adatok forrása: ATIVIZIG)

A 2006-os árvíz a rendkívül magas vízállása miatt emlékezetes (13. ábra), amikor Mindszentnél újra megdőlt az LNV értéke. Ez év során a vízállás görbén két kiemelkedő csúcs jelezte a tavaszi jeges ár és a nyár eleji zöldár jelenlétét. A jeges árvíz március elején (03.10) lépett ki a hullámterre, majd 73 napos áradás után május második felében (05.21) húzódott vissza

medrébe. Az áradás sebessége az első pár napban 14,2 cm/nap volt, majd 6 nap apadást (6,3 cm/nap) követően újra áradni kezdett (15,9 cm/nap) a Tisza. A vízállás 04.22-én tetőzött 1062 cm-en, felállítva az azóta is érvényes Mindszenti LNV rekordot. Az árvizet lezáró apadás 17,3 cm/napos átlagsebességű volt. A nagy árhullám után a nyár első napjaiban (06.03) újra kilépett a Tisza a medréből a nyár eleji esőzések következtében. Az áradás átlagos sebessége 15,5 cm/nap volt, majd június közepén (06.19) 767 cm-en tetőzött a vízállás. Az áradás 31 nap után vonult vissza 17 cm/napos apadási sebességgel. A 2006-os tavaszi árhullám a 2000-eshez hasonlóan közel azonos időpontban, azonban jóval magasabban tetőzött, illetve 2006-ban a nyár eleji zöldár is árvízi helyzetet teremtett.

A 2010-ben szokatlan módon hat árhullám is kialakult (14. ábra). Az év első árvize már január első napjaiban (01.03) kilépett a mederből, majd 13,6 cm/napos áradási sebességgel érte el a tetőzést (01.18: 726), majd január végén (01.27.) 25 napos árvíz után rendkívüli gyorsasággal, (19,2 cm/nap) a Tisza visszahúzódott medrébe. A második árhullám (02.25-03.14) 18 napig borította be a hullámteret. Az áradás viszonylag lassú volt (12,2 cm/nap), majd március 7-8-án a Tisza 631 cm-en tetőzött, majd ezt követően vízállás gyorsan (17,5 cm/nap) csökkent. Harmadik alkalommal kevésbé volt jelentős az árvíz magasság (543 cm) és hossza is csupán 5 nap volt, az áradás és az apadás sebessége hasonló volt (8-8,5 cm/nap).



14. ábra A 2013-as év vízállásainak összehasonlítása a 2010-es adatokkal Mindszentnél

(adatok forrása: ATIVIZIG)

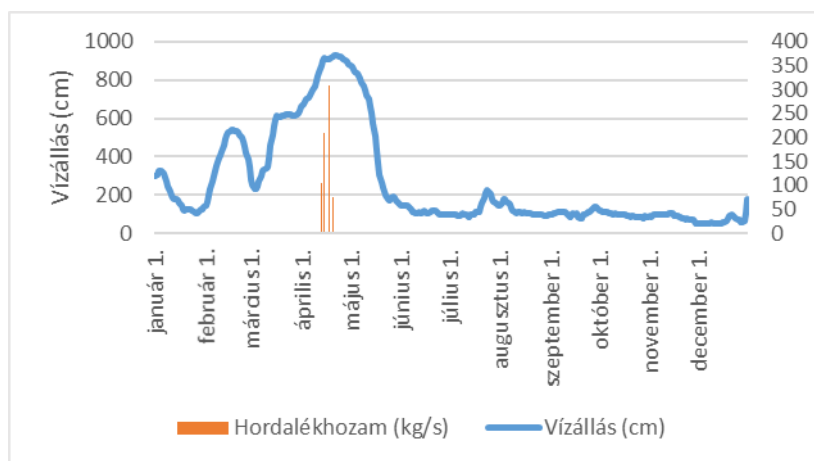
A negyedik, leghosszabb (56 nap) árhullám május közepe és július közepe között öntötte el a hullámteret. A vízállás június 19-20-án érte el a maximális értéket 876 cm-en, az áradás sebessége 11,97 cm/nap volt, míg az apadásé 17,6 cm/nap. Az év ötöd árhulláma augusztus elején alakult ki, de a Tisza mindössze 6 napig hagyta el a medret (tetőzés: 08.04: 541 cm). Az áradás folyamatában a vízállás növekedés átlagos sebessége 10,7 cm/nap, az apadásé 6 cm/nap volt. Az év utolsó áradása

december elején (12.06) vette kezdetét, amikor egy 26 napos áradás erejéig 2010-ben már hatodszorra öntötte el az ár a hullámteret Mindszentén. A vízállás 31-én tetőzött 802 cm-en, majd a 2011-es évben folytatódott egészen február elejéig. Az áradás sebessége 2010-ben 11,4 cm/nap volt. A 2013-as évhez képest 2010-ben rendkívül sok alkalommal öntötte el az ár a hullámteret. Ezenkívül a tavaszi árhullám sokkal kisebb mértékű volt, mint 2013-ban, szemben a nyár eleji zöldárral.

5.2.2. Hordalékhozamok összehasonlítása

A korábbi évekről már több hordalékhozam adattal rendelkezem. Az 1998-ban, 1999-ben, 2000-ben, 2006-ban és 2010-ben mért lebegtetett hordalékhozam értékek azt mutatják, hogy a nagyobb mértékű hordalékszállítás az árhullám felszálló ágában és tetőzésének idején történik. Ezt a 2000-es tavaszi árhullám ideje alatt mért hordalékhozam adatok változása is egyértelműen szemlélteti (15. ábra). Ekkor 2000. április 13-án 873 cm-es vízállás során a mért hordalékhozam 103,8 kg/s mértékű volt. Ezt követően, 04.15-én ez az érték kétszeresére nőtt (919 cm: 210,3 kg/s). Az erre az árhullámra ráfutó újabb kis árhullám során tovább nőtt a hordalékhozam mennyisége (308,9 kg/s). Végül 04.20-án hiába növekedett tovább a vízállás (924 cm) a hordalékhozam értéke a tetőzéskor jelentősen, a korábbi 24%-ára esett vissza (74,7 kg/s).

Tehát a legnagyobb hordalékhozam nem a legmagasabb, tetőző vízállás idején jelentkezett, hanem az azt megelőző pár napban. Ráadásul az 1998-2010-es adatok azt is mutatják, hogy minden árvíz más és más körülmények közt vonul le, kialakulásuk során más és más hatások dominálnak, és mivel a mintavételezések gyakorisága alacsony, ezért az összehasonlítás korlátozott.



15. ábra A Tisza vízállása és hordalékhozama Szegednél 2000-ben (adatok forrása: ATIVIZIG)

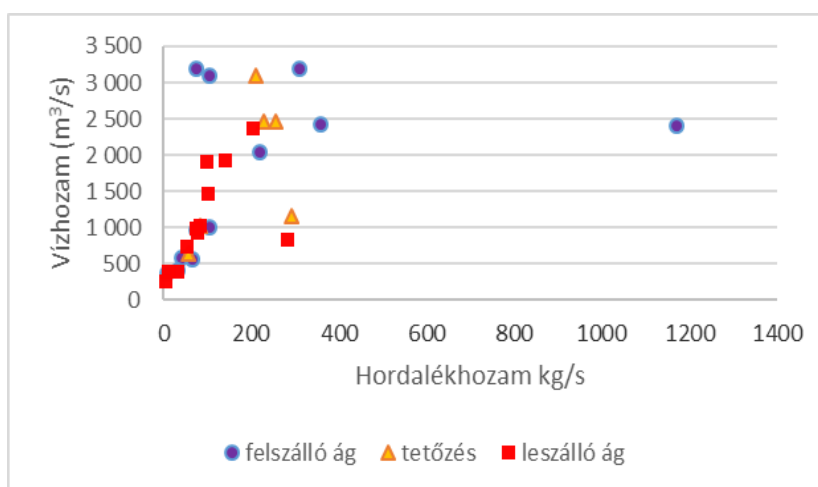
A vizsgált évek hordalékhozamának összehasonlításához összefoglaltam a meglévő adatokat (1. táblázat). A legnagyobb hordalékhozamot mindig az árhullám felszálló ágában és tetőzésekor mérték, míg a legkevesebb hordalékot az apadás során szállítja a folyó. A vízállás szintje, áradás

időtartama és sebessége és a hordalékhozam mennyisége közt nincs egyértelmű kapcsolat. A legnagyobb, rekord mennyiségű hordalékhozamot ugyan 2010-ben mérték, amikor az árvizes napok száma is a legtöbb volt, azonban a vízállás nem ekkor volt a legmagasabb. A 2006-os évben jelentős méretű és tartamú árhullám vonult végig a Tiszán, ennek ellenére a szállított hordalékhozam elenyésző mennyiségű volt 2000, 2010 és 2013-hoz képest.

év	1998	1999	2000	2006	2010	2013
Árvíz hossza (nap)	74	88	72	105	121	50
Tetőzés (cm)	705	817	928	1009	836	762
Legnagyobb hordalékhozam (kg/s)	256,1 (tetőzés)	228,3 (tetőzés)	308,9 (felszálló vége)	290,5 (tetőzés)	1 170,0 (felszálló utolsó harmada)	358,3 (felszálló utolsó harmada)
Legkisebb hordalékhozam (kg/s)	42,2 (leszálló)	33,5 (leszálló)	74,7 (felszálló vége)	64,6 (felszálló eleje)	-	3,9 (leszálló)

1. táblázat A korábbi évek vizsgált paraméterei (adatok forrása: ATIVIZIG)

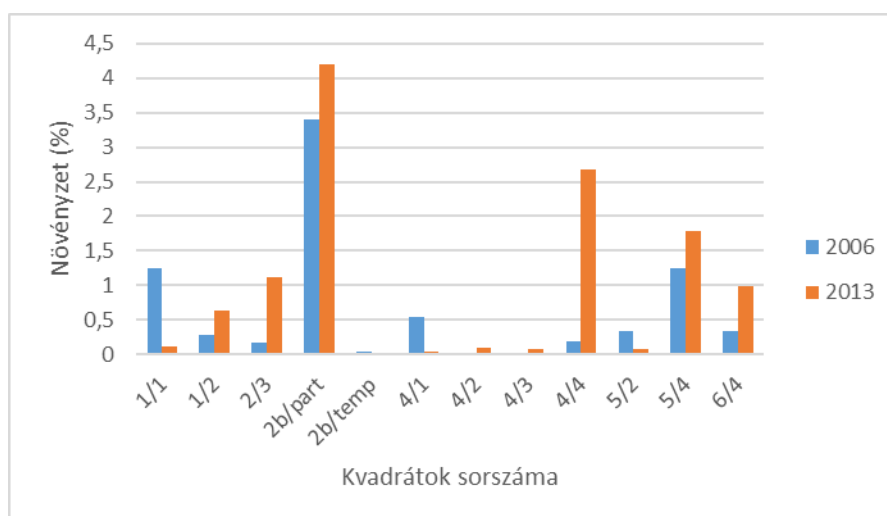
A vizsgált évek hordalékhozam adatait összevettem az ugyanazon mért vízhozam adatokkal is (16. ábra). A magasabb hordalékhozamokhoz magasabb vízhozam értékek, az alacsonyabb hordalékhozamokhoz pedig alacsonyabb vízhozam értékek társulnak. A hordalékhozam és a vízhozam értékei közt gyenge egyenes arányosság áll fenn, azaz minél nagyobb a folyó vízhozama, annál több hordalék szállítására képes. Azonban a nagyobb vízhozam értékeknél az adatok szórása jelentősen nő. A leszálló ágban a kapcsolat egyértelműbb, de az áradó ágban a kapcsolat igen laza. Az ábra alátámasztja az előbbi megállapítást, miszerint a legnagyobb hordalék- és vízhozamot az árhullám felszálló és tetőző szakaszán tapasztalhatjuk.



16. ábra A hordalék- és vízhozam kapcsolata a Tisza esetében a vizsgált években (adatok forrása: ATIVIZIG)

5.2.3. A hullámtéri növényzet alakulása 2006 és 2013 között

A 2006 és a 2013 évi hullámtéri növényzetet a feltérképezett növényzeti kvadrátok alapján vizsgáltam. A 2006-os állapotokat Sándor (2011) mérte fel. A növényzet által elfoglalt kvadrátterület aránya egyértelműen növekedett 2013-ban (17. ábra), tehát a növényzet sűrűbbé vált 7 év alatt. Néhány mérési területen azonban csökkent a növényzet aránya 2006-hoz képest, leginkább az erdők gondozása miatt. Például az 1/1 és az 5/4-es kvadrátban a fakitermelés során kiirtották az sűrű gyalogakácot is, míg a 2b/temp kvadrátnál 1-2 éves, tiszta aljnövényzetű nyár ültetvényt találtunk, ami a 2006-os méréskor még sűrű gyalogakáccal borított idős nyárültetvény kategóriába esett.



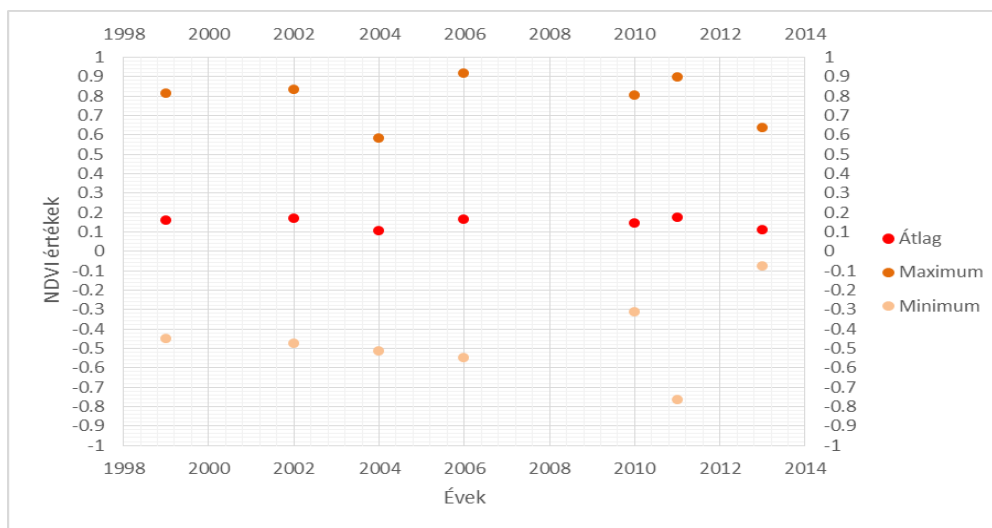
17. ábra A kvadrátokat borító növényzet területének (%) változása 2006 és 2013 között

Néhány kvadrátban jelentősen nőtt a növényzet aránya. Például az 1/1-es kvadrát felmérése során a 2006-ban mért 75 cm-es fűzfát 2013-ban már nem találtuk, ezért a tiszta terület aránya látványosan megnövekedett az utóbbi 7 évben. A 2/3-as kvadrátban 2006-ban még néhány évesek voltak a nyárfák és aljzatuk gondozott volt, de azóta újból megfertőződött gyalogakáccal. Hasonló módon sűrű gyalogakác lepte el a 2b/part elnevezésű kvadrátot, míg a 4/4-es kvadrátban a növényzet térnyerését a krisztustövis elszaporodása okozta. Az 5/4-es és 6/4-es kvadrátokban a fűzfák és a nyárfák kerülete növekedett és az aljnövényzetükben a gyalogakác is sűrűbbé vált. Összességében megállapítható a növényzet térnyerése, hiszen területaránya 2006 és 2013 között 3,6-szorosára növekedett.

5.2.4. A hullámtéri növényzet változása 1998 és 2014 között NDVI alakulása alapján

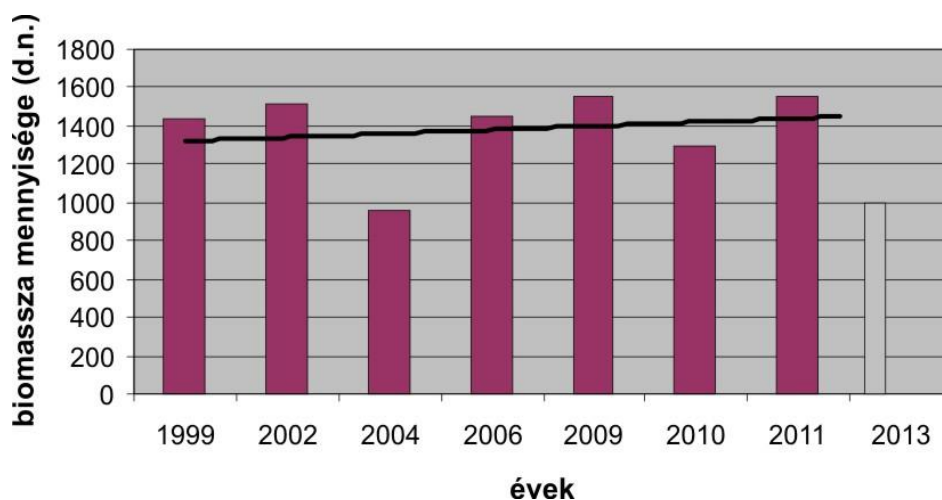
A mintaterület növényzetének változását a Normalizált Vegetációs Index (NDVI) értékei alapján is megvizsgáltam (18. ábra). Az átlagos NDVI értékeket tekintve számottevő változást nem tapasztaltam, hisz az értékek 0,11 és 0,17 között változnak. Azonban a minimum és maximum

értékek változást mutatnak, ugyanis a kiindulási évhez képest (1999) csupán kétszer (2004 és 2013) csökkent a maximális NDVI értéke, illetve a minimum értékek is jelentősen nőttek 2010-ben és 2013-ban.



18. ábra Az NDVI átlagos, minimum és maximum értékeinek alakulása a mintaterületen az adott év június-júliusában

A biomassza produktum értéke azt mutatja meg, hogy a mintaterületen kialakult növényzet a felvételezés napján összesen mekkora mennyiségű biomasszát jelentett az egész évre nézve (19. ábra). Értékét az NDVI értékeknek és az értékekhez tartozó hisztogram, gyakoriság szorzatával, majd az így kapott biomassza értékek összegének meghatározásával hasonlítottam össze. A szorzatok értéke egy dimenzió nélküli szám, mértékegysége nincs. Az 1999-es és 2011-es évek közt egyértelmű növekedés jellemzi a biomassza mennyiségét. Ez a növekedés 2013-ban megtörik, értéke lecsökken. Ez a terepi felmérés során tapasztalt változásokkal magyarázható, ugyanis 1-2 hektárnyi területen jelentős fakitermeléssel találkoztunk. Feltöltődés szempontjából ez az értékviszsaesés azonban kevésbé jelentős, ugyanis ez a terület a gát lábánál található, ahol az akkumuláció mértéke nem jelentős (1 mm >).



19. ábra A biomassza változása a mintaterületen 1999 és 2013 között

5.2.5. Az üledék lerakódás mintázatának és térfogatának alakulása az elmúlt években

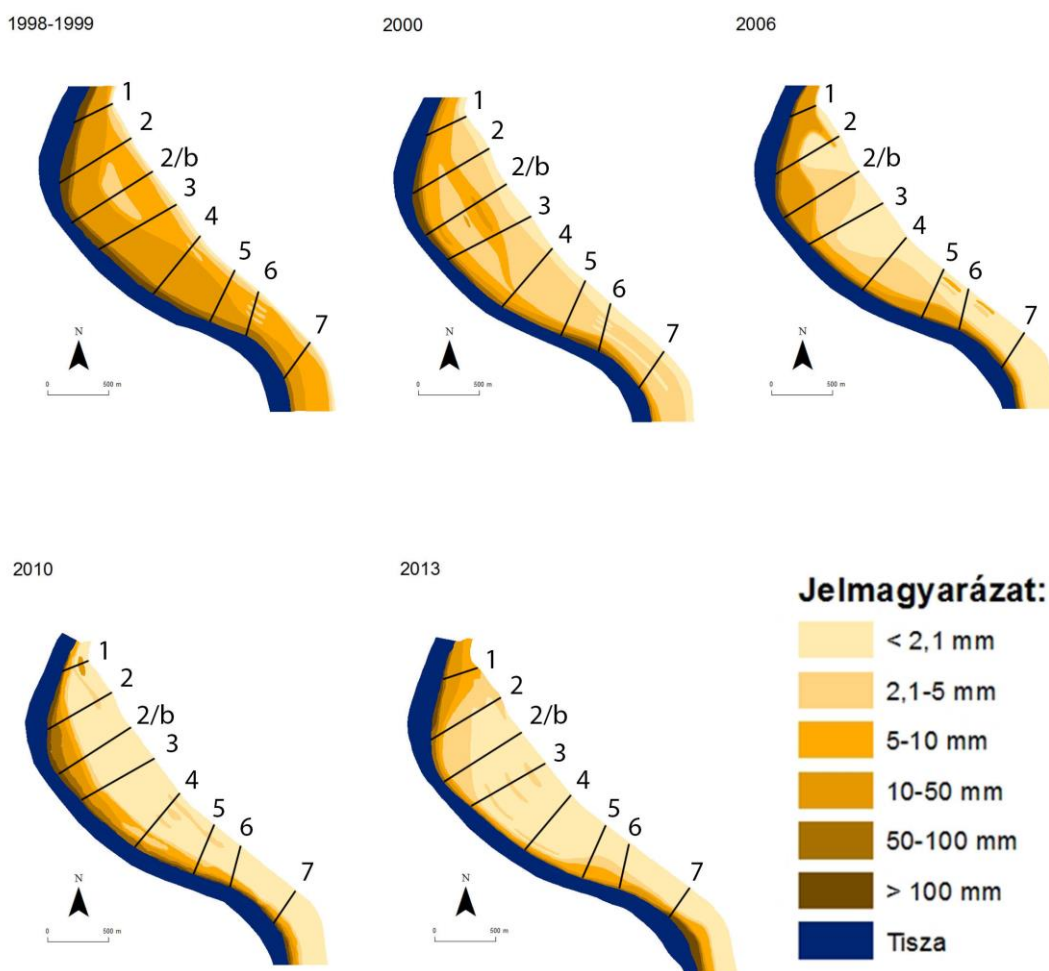
A 2013-as méréseinket megelőzően 1998-99 óta négy alkalommal mértek üledék-felhalmozódást a Tiszán a Mindszenti hullámtéren (Kiss et al. 2002, Gázsó 2010, Sándor 2011). Ezen évek mérési eredményeiről általánosan elmondható, hogy az üledék vastagsága a folyótól távolodva, az árvízvédelmi gát felé közeledve egyre csökkent (20. ábra). A legtöbb üledéket a folyómeder mentén mérték: ez minden évben változatlanul így volt, mivel az izovonalak párhuzamosan követik a folyómedret.

Az 1998-99-es árhullámok idején a hullámtér túlnyomó részén a 10-50 mm közötti akkumulációs értékek domináltak kiemelkedően széles sávban (250 m), csaknem a hullámtér felét elfoglalva. A 2013 évi akkumulációval szemben a 2,1 mm alatti üledékvastagságú terület kis kiterjedésű, mindössze szorosan a gátak lábánál, kb. 50 méteres sávban fordult elő. Ez köszönhető a hosszú ideig tartó áradások összegződő hatásának, illetve azt is figyelembe kell venni, hogy ez a mintázat két év által lerakott üledék mennyiségét mutatja.

Ezzel szemben 2000-ben csökkent az akkumuláció mértéke, bár a hullámtér területén a 2,1-10 mm közötti értékek váltak meghatározóvá. A partok mentén, illetve a hullámtér közepén húzódó keskeny, alacsonyfekvésű sávban 10-50 mm közötti üledékvastagság dominál. Ugyanakkor a 2,1 mm alatti felhalmozódással jellemezhető terület kiterjedése csaknem háromszorosára nőtt az 1998-99-es évekhez képest. A Tisza partján az 1998-99-es évhez hasonlóan továbbra is jellemzőek az 50 mm feletti értékek, melyek fokozatosan növekedtek a mederhez közeledve. A 2013-as felhalmozódáshoz képest sokkal nagyobb mértékű volt az üledék lerakódás.

A 2006-os évben már a 2,1 mm alatti vastagságú akkumulációs terület jelentős térfogata jellemezte a hullámtér túlnyomó részét, de az 1998-1999-es évekhez hasonlóan nagy kiterjedésű területeken volt jellemző 10-50 mm-es akkumuláció is. A hullámtéren három helyen is

megfigyelhető az izovonalak kiöblösödése, de folyásirányban lefelé egyre vékonyabb volt ezekben a foltokban a hordalék-lerakódás mértéke. Ez a mintázat magyarázható az addig mért legmagasabb vízállással levonuló árhullámmal, ami több ponton „tört be” a hullámtérre, nagy mennyiségű hordalékot szállítva. Ebben a mintázatba már megfigyelhető az egyre sűrűbbé váló növényzet szerepe. A 2013-as évhez képest kimagaslóan nagyobb mennyiségű hordalék rakódott le a hullámtéren 2006-ban, ami magyarázható a hosszabb árhullámmal (73 nap), bár a mért lebegtetett hordalékhozam kisebb volt részben.



20. ábra A mindszenti hullámtéren az üledékfelhalmozódás mértéke 1998-1999-ben, 2000-ben (Kiss et al. 2002), 2006-ban (Sándor 2011), 2010-ben (Gazsó 2010) és 2013-ban

Bár 2010-ben 6 árhullám vonult le egymást követően, a hullámtér nagy részén a 2,1 mm alatti feltöltődés-értékek domináltak. A legjelentősebb mennyiségű üledék továbbra is a Tisza partjához közelebbi területeken jellemző, de a korábbinál keskenyebb sávra (100 m) korlátozódik a kiterjedése, majd a gátak felé a legtöbb helyen mindössze hártyszerű üledék fordult elő.

Ehhez képest 2013-as évben a feltöltődés vastagsága hasonlóan alakult, azonban az izovonalak futásában jelentős változás állt be. A partmenti izovonalak a korábbiaknál is jobban a Tisza felé tolódtak, miközben északon kiöblösödő izovonalak jelentek meg. Ezek arra utalnak, hogy a beáramló vízből gyorsan kiülepedett a lebegtetett hordalék.

Mivel a különböző évek felmérései ugyanazon mintaterületen, azonos módszerrel és azonos szelvények mentén zajlottak, a felhalmozódás izovonalai alapján meghatározó a leülepedett friss hordalék térfogata (2. táblázat). A legnagyobb térfogatú üledék az 1998-1999-es árvíz során halmozódott fel (38 823 m³). Ez az érték azonban két évre vonatkozik, azaz egy évre 19 412 m³ térfogatú üledéket számíthatunk. Így valójában a legnagyobb mennyiségű üledék 2010-ben rakódott le (25 043 m³), amikor összesen hat alkalommal lépett ki a hullámtérre az árvíz, és egyikük LNV-t is döntött. A lerakódott hordalék térfogata és az átlagos hordalékvastagság is 2010-ig fokozatosan növekedett. A legkisebb mértékű felhalmozódást a saját, 2013-as felmérésem során tapasztaltam (15 241 m³), ami magyarázható azzal, hogy ebben az évben az árhullám szintje és időtartama nem volt kiemelkedő jelentőségű az előző évekhez képest, illetve a sűrű növényzet is útját állta a hordalékát szállító víznek.

<i>Vizsgált árvízes év</i>	<i>átlagos üledékvastagság (mm)</i>	<i>Üledék térfogata (m³)</i>
1998-1999	22,8 (11,4)	38 823 (19 412)
2000	11,1	18 926
2006	13,5	22 933
2010	14,7	25 043
2013	9	15 241

2. táblázat Az elmúlt évek árvizei által lerakott, területtel súlyozott átlagos üledékvastagság (mm) és annak térfogata (m³)

6. Összegzés

A XIX. századi folyószabályozás során létrehozott árvízvédelmi gátrendszer a Tisza árterén jelentős változásokat okozott. Míg a szabályozások előtt széles árterületen halmozódott fel az üledék, addig ma a gátak által közrefogott hullámtéren, ami előre vetítette a felgyorsuló ártérfeltöltődést.

Dolgozatomban a 2013-ban lerakódott üledék mennyiségét határoztam meg, illetve a változás szemléltetése céljából a korábbi években mért értékekkel hasonlítottam össze. A korábbi tiszai kutatások közül Vass (2014) beregi hullámtéren mért 5,8-11 mm-es és Sándor (2011) szolnoki 3,7-6,8 mm-es értékei állnak a legközelebb.

A mintaterületen végzett korábbi mérésekkel (Kiss et al. 2002, Gázsó 2010, Sándor 2011) összehasonlítva megállapítható, hogy a 2013-as árvíz során jelentős változás állt be a lerakódás mintázatában és a lerakódott üledék térfogatában is. A feltöltődés mintázatát kirajzoló izovonalak futása ugyanis megváltozott: a partokhoz közelebb simult az intenzív akkumuláció sávja, miközben északon az izovonalak kiöblösödtek. Mindkettő magyarázható a hullámtéri növényzet sűrűbbé válásával. A növényzetet sűrűbbé válását bizonyítja a terepi növényzeti felmérésem, illetve az általam kiszámolt NDVI és biomassza mennyiség változásai is. A kvadrátokban felmért növényzet területaránya 2006-hoz képest átlagosan 3,6-szorosára növekedett, ami a cserjeszintben egyre jobban elburjánzó gyalogakác és egyéb özönfajok elterjedésével magyarázható. A Landsat júniusi és júliusi műholdfelvételei alapján számolt minimum és maximum NDVI értékek a hullámtér növényzetének sűrűbbé válását jelzik. A termelődött biomassza mennyisége ezt a növekvő tendenciát méginkább jelzi.

A 2013-as árhullám a korábbi évekhez képest kisebb mértékű, mindössze 9 mm átlagvastagságú üledékréteget rakott le a mindszerinti hullámtéren, és mindössze 15 241 m³ üledék rakódott le a vizsgált hullámtér egész területén. Ez a 2010-es évhez képest megközelítőleg 40%-os, míg 1998-hoz képest 22%-os csökkenést jelent. Ennek oka a korábbi évekhez viszonyítva az árhullám rövidebb időtartama is lehet, mivel 2013-ban csupán egy alkalommal, 55 napig volt árvíz, ami csupán 830 cm-en tetőzött.

A lerakódott üledék térfogatának csökkenését a növényzet egyre sűrűbbé válása is okozhatta, s ezt támasztja alá a hordaléklerakódás mintázatának változása is. Véleményem szerint az egyre sűrűbb növényzet növeli az érdességet, és így csökkenti a vízsebességet. Ez a hordalék lerakódását segíti elő. Azonban az eredményeink arra is utalnak, hogy a nagyon sűrű, áthatolhatatlan növényzettel beszótt terület bár "feltöltődik" árvízkor vízzel, de az árhullám nem képes mozogni a hullámtéren, így az árhullám nem tudja hordalékát a hullámtér mélyebb részeire szállítani. Tehát a

hordalék azonnal lerakódik a sűrű növényzetű partélek mentén, illetve a nagy érdességű növényzet felvízi határán (ld. északon az izovonalak kiöblösödése). Ez azt mutatja, hogy a növényzet sűrűségének van egy (küszöb)értéke, amíg egyenes arányosság van a feltöltődés mértéke és a növényzet sűrűsége között, majd a küszöbérték elérésekor az arányosság megfordul, és a növényzet további sűrűsödésével az akkumuláció mértéke csökken.

Összegezve tehát az árvízszintek emelkedéséhez hozzájáruló hullámtéri feliszapolódás mértéke csökkenni látszik a növényzet érdességnövelő hatása miatt (de további mérésekre lenne szükség, hogy a trend biztosan megállapítható legyen). Ez kedvezően értékelhető az árvízi kockázat szempontjából. Azonban a sűrű növényzet csökkenti a hullámtéren áramló víz sebességét, gátolja az árhullámok levonulását, így az egyre szűkebbé váló főmederben kellene levonulnia a vízhozam jelentős részének, ami viszont az árvízi kockázatot jelentősen növeli. Ezért fontosnak tartom a hullámtér megfelelő karbantartását, illetve valódi funkciójának a figyelembe vételét.

Irodalomjegyzék

- Andó M. 2002: A Tisza vízrendszer hidrogeográfiája. SZTE Természeti Földrajzi Tanszék kiadó, Szeged
- Asselman N.E.M., Middelkoop H. 1995: Floodplain sedimentation: quantites, patterns and processes. *Earth Surface Processes and Landforms* 20, 481-499.
- Babák K. 2006: A Hármas-Körös hullámterének feltöltődése a folyószabályozások óta. *Földrajzi Értesítő* 55/3-4, 393-399.
- Balogh J., Nagy I., Schweitzer F. 2005: A Közép-Tisza mente geomorfológiai adottságainak és a hullámterek feliszapolódásának vizsgálata mintaterületeken. *Földrajzi Értesítő* 54/1-2, 29-59.
- Bezdán M. 2011: A vízjárás változása a Tisza Dél-Alföldi szakaszán. In: Rakonczai J. (szerk.) *Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföldi Alapítvány Kötetei* 7., Békéscsaba 199-210.
- Collins A. L., Walling D. E., Leeks G. J. L. 1997: Use of the geochemical record preserved in floodplain deposit reconstruct recent changes in river basin sediment sources. *Geomorphology* 19, 151-167.
- Csorba P. 2011: Az Alföld tájváltozásainak tendenciái. In: Rakonczai J. (szerk.): *Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei* 7. Békéscsaba, 149-158.
- Faludi G., Kalocsa B. 2002: A fokok történetisége és funkciója – Adalékok egy vitához. *Hidrológiai Közlöny* 82/2, 127-B.
- Fiala K., Kiss T. 2004: Mederváltozások és következményeik vizsgálata az Alsó-Tiszán. In: *A magyar földrajz kurrens eredményei (II. Magyar Földrajzi Konferencia kiadványa)*. 443-451.
- Fiala K., Kiss T. 2005: A középvízi meder változásai az 1890-es évektől az Alsó-Tiszán. *Hidrológiai Közlöny* 85/3. 60-64.
- Fiala K., Kiss T. 2006: A középvízi meder változásai a 1890-es évektől az Alsó-Tiszán II. *Hidrológiai Közlöny* 86/5. 13-17.
- Florsheim J., L., Mount J.F. 2003: Changes in lowland floodplain sedimentation processes: predisturbance to post-rehabilitation, Cosumnes River, CA. *Geomorphology* 56, 305-323.
- Gábris Gy. 2012: Európa regionális földrajza, Természetföldrajz, ELTE Eötvös kiadó, Budapest, 155. , 170.
- Gábris Gy., Telbisz T., Nagy B., Belardinelli, E. 2002: A Tiszai hullámtér feltöltődésének kérdése és az üledékképződés geomorfológiai alapjai. *Vízügyi Közlemények* 84/3. 305-322.
- Gábris Gy., Timár G., Somhegyi A., Nagy I. 2004: Árvízi tározás vagy ártéri gazdálkodás a Tisza mentén. II. Magyar Földrajzi Konferencia
- Gallé L. 2003: A Tisza-völgy élővilága. In: Teplán I.(szerk.): *A Tisza és vízrendszere II. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest* 13-123.
- Gaszó A. 2010: Recens hullámtéri akkumuláció vizsgálata és a tiszai szabad strand Mindszentnél. Diplomamunka Szeged
- Hooke J.M., Mant J.M. 2000: Geomorphological impacts of a flood event on ephemeral channels in SE Spain. *Geomorphology* 34, 163-180.

- Hupp C.R., Simon A. 1991: Bank accretion and the development of vegetated depositional surfaces along modified alluvial channels. *Geomorphology* 4, 111-124.
- Ihrig D. 1973: A magyar vízszabályozás története. Az Országos Vízügyi Hivatal kiadványa, Budapest, 398.
- Illés L., Konecsny K. 2000: Az erdő hidrológiai hatása az árvizek kialakulására a Felső-Tisza vízgyűjtőjében. *Vízügyi Közlemények* 82/2., 167-196.
- Károlyi Z. 1960: A Tisza mederváltozásai, különös tekintettel az árvízvédelemre. VITUKI, Tanulmányok és kutatási eredmények sorozat 8. szám, Budapest, 20-21.
- Kis É., Lóczy D. 1985: Geomorphological mapping in alluvial plain and the assessment of environmental quality. In: Pécsi M. (szerk.): *Environmental and dynamic geomorphology*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 182-186.
- Kiss T., Hernesz P. 2013: Az Alsó-Tisza-vidék árterének geomorfológiai jellegzetességei és kora. *Földrajzi Közlemények* 135/3, 261-274.
- Kiss T., Sipos Gy. 2001: A morfológia és a nehézfém-tartalom kapcsolatának vizsgálata a Maros medrében és hullámterén. In: Ilyés Z. – Keményfi R. (szerk.): *A táj megértése felé – Tanulmányok a 75 éves Pinczés Zoltán professzor tiszteletére*. Debreceni Egyetem Néprajzi Tanszék Debrecen-Eger 63-83.
- Kiss T., Sipos Gy., Fiala K. 2002: Recens üledékfelhalmozódás sebességének vizsgálata az Alsó-Tiszán. *Vízügyi Közlemények* 84/3. 456-472.
- Kiss T., Sipos Gy., Fiala K. 2011: Az Alföld töltések közé szorított folyói. In: Rakonczai J. (szerk.): *Környezeti változások és az Alföld*. Nagyalföldi Alapítvány Kötetei 7., Békéscsaba, 211-223.
- Kiss T., Sipos Gy., Oroszi V., Barta K. 2004: Üledékfelhalmozódás mértékének vizsgálata a Maros és az Alsó-Tisza hullámterén. In: *A magyar földrajz kurrens eredményei: A II. Magyar Földrajzi Konferencia CD kiadványa*, Szeged
- Konecsny K. 2011: Az országhatáron túli tájátalakítás hatása az Alföld vízviszonyaira. In: Pálfi I. (szerk.): *A víz szerepe és jelentősége az Alföldön*. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 6, 27-45.
- Kovács F. 2011: Az Alföldi területhasználat és változásainak értékelése. In: Rakonczai J. (szerk.): *Környezeti változások és az Alföld*. A Nagyalföldi Alapítvány Kötetei 7., Békéscsaba, 159-166.
- Kozák M., Rátky I. 1999: Hullámtér szélességének és beépítettségének hatása az árvízszintekre. *Vízügyi Közlemények* 81/2. 311-317.
- Kvassay J. 1902: A szabályozások hatása a folyók vízjárására Magyarországon. *Vízügyi Közlemények* 15, 8-27.
- Lászlóffy W. 1982: A Tisza. Vízi munkálatok és vízgazdálkodás a tiszai vízrendszerben. Akadémiai Kiadó, Budapest 610.
- Lecce S.A., Pavlowsky P.T. 2004: Spatial and temporal variations in the grain-size characteristics of historical flood plain deposits, Blue River, Wisconsin, USA. *Geomorphology* 61, 361-371.
- Lóczy D., Kiss T. 2008: Ártérfejlődés és holtágfeltöltődés sebességének vizsgálata. In: *Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon*. Földrajzi Tanulmányok 2., Szeged, 43-54.

- Nagy I., Schweitzer F., Alföldi L. 2001: A hullámtéri hordalék-lerakódás (övezet). *Vízügyi Közlemények* 83/4. 539-564.
- Oroszi V. Gy. 2008: Egy árvíz okozta ártérfeltöltődés: a Maros 2006. évi áradása által lerakott hullámtéri üledék vizsgálata. In: Kiss T. – Mezősi G. (szerk.): *Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon. Földrajzi Tanulmányok 2.*, Szeged, 73-81.
- Oroszi V. Gy. 2009: *Hullámtér-fejlődés vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. PhD értekezés, Szeged*
- Oroszi V. Gy., Kiss T. 2004: A folyószabályozás hatására felgyorsult hullámtér-feltöltődés vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. II. Magyar Földrajzi Konferencia (CD kiadvány) Szeged 1-20.
- 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., Sümeghy Z. (szerk.): *Táj, környezet és társadalom. Szeged*, 551-559.
- Pécsi M. 1969: *A tiszai Alföld. Akadémiai Kiadó, Budapest* 381.
- Rakonczai J. 2011: A környezet-átalakítás hidrogeográfiai összefüggései az Alföldön. In: Pálfi I. (szerk.): *A víz szerepe és jelentősége az Alföldön, A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 6.*, Békéscsaba, 16-26.
- Sándor A. 2011: *A hullámtér feltöltődés folyamatának vizsgálata a Tisza középső és alsó szakaszán. Doktori (PhD) értekezés, Szeged*
- Sándor A., Kiss T. 2006: A hullámtéri üledék-felhalmozódás mértékének vizsgálata a Közép- és az Alsó-Tiszán. *Hidrológiai Közöny* 86/2. 58-62.
- Sándor A., Kiss T. 2007: A 2006. tavaszi árvíz okozta feltöltődés mértéke és az azt befolyásoló tényezők vizsgálata a Közép-Tiszán, Szolnokon. *Hidrológiai Közöny* 87/4. 19-24.
- Sándor A., Kiss T. 2008: A területhasználat változás hatása az üledék-felhalmozódásra, közép-tiszai vizsgálatok alapján. IV. Magyar Földrajzi Konferencia Debrecen
- Schweitzer F. 2001: Társadalom és a környezet: Gátépítés vagy hullámtérbővítés. In: Keményfi R., Ilyés Z. (szerk.): *A táj megértése felé. Debrecen* 95-103.
- Schweitzer F., Nagy I., Alföldi L. 2002: Jelenkori övezet(parti gát) képződés és hullámtéri lerakódás a Közép-Tisza térségében. *Földrajzi Értesítő* 51/3-4., 257-278.
- Somogyi S. 2003: A Tisza és az ember. In: Teplán I. (szerk.): *A Tisza és vízrendszere I*, Budapest, 91-107.
- Szesztay K. 2011: Az Alföld vízháztartása. In: Pálfi I. (szerk.): *A víz szerepe és jelentősége az Alföldön. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 6.*, Békéscsaba, 7-15.
- Szlávik L., Kling Z. 2004: Árvízvédelem, terület- és vidékfejlesztés a Tisza mentén: a Vásárhelyi-terv. II. Magyar Földrajzi Konferencia Szeged, 1-15.
- Vágás I. 1982: *A Tisza árvizei. VIZDOK kiadó, Budapest* 19-23.
- Vass R. 2014: *Ártérfejlődési vizsgálatok felső-tiszai mintaterületeken. PhD értekezés, Debrecen*
- Vass R., Dr. Szabó G., Dr. Szabó J. 2009: *Hullámtéri feltöltődés vizsgálata geoinformatikai módszerekkel a Felső-Tisza vidékén. In: Hegedűs A. (szerk.): Geoinformatika és domborzatmodellezés 2009. Miskolci Egyetem Földrajz Intézet, Miskolc, 2010*

- Walling D.E., Owens P.N., Leeks G.J.L. 1998: The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Geomorphology* 22, 225-242.
- Wallinga J., Hobo N., Cunningham A.C., Versendaal A.J., Makaske B., Middelkoop H. 2010: Sedimentation rates on embanked floodplains determined through quartz optical dating. *Quaternary Geochronology* 5, 170-175.
- Wyzga B. 1999: Estimating mean flow velocity in channel and floodplain areas and its use for explaining the pattern of overbank deposition and floodplain retention. *Geomorphology* 28, 281-297.
- Zhao Y., Marriott S., Rogers J., Iwugo K. 1999: A preliminary study of heavy metal distribution on the floodplain of the River Severn, UK by a single flood event. *The Science of the Total Environment* 243-244, 219-231.

Függelék

A témavezető által adott feladatok az egyes fejezetekhez

1. Bevezetés

Témavezetőm kérdései: Milyen földrajzi/környezeti probléma vezetett a kutatáshoz? Miért ezt a területet választotta? Hogyan változott az ártérfeltöltődés mértéke?

Módszer: aktuális problémák keresése a neten, szakmai újságokban, tanszéken folyó korábbi kutatások áttekintése

2-3. Irodalmi előzmények, mintaterület

Témavezetőm kérdései: A vizsgált folyamat általános ismertetése. Mi okozza, befolyásolja a folyamat kialakulását? Hazai és külföldi kutatók hogyan dolgozták fel ugyanezt a problémát más területeken. Mi volt a mérések menete? Milyen követni való módszereket alkalmaztak? Melyek voltak a módszer előnyei? Mi a vizsgált folyamat következménye?

Módszer: Vonatkozó magyar (47 db) és angol nyelvű (10 db) cikkek, könyvrészletek áttekintése, értékelése, a továbbvivő gondolatok kiértékelése

4-5. Eredmények

Témavezetőm kérdései: Hogyan zajlott a 2013. évi árvíz? Mi jellemezte a hordalékhozamot, a hullámtéri növényzet sűrűségét, a lerakódott üledék mintázatát és mennyiségét? Ezekben a folyamatokban milyen változások állapíthatók meg a korábbi évekhez képest?

Módszer: Terepi mérések: szelvények mentén a lerakódott hordalék vastagságának mérése, kvadrátokban a növényzet felmérése.

Irodai mérések:

- vízállás, vízhozam és hordalékhozam adatok excel-es értékelése;
- a feltöltődés izovonalas ábrázolása, ArcViewban geokorrigálva, feldolgozva, digitalizálva, digitális domborzatmodell felhasználásával lerakódott üledék térfogatának számolása, Excel-ben értékelve és bemutatva, értékek összehasonlítása, változás megállapítása;
- a kvadrátokban mért terepi növényzeti adatok Excel-es feldolgozása,
- Landsat felvétele alapján NDVI értékek és biomassza mennyiség meghatározása Erdas Imagine 9.1-es szoftverrel,

6. Összegzés

Témavezetőm kérdései: Foglald össze a legfőbb saját eredményeidet és hasonlítsd össze mások kutatásaival!

Módszer: kritikai elemzés és összehasonlítás

2015. január 7.