

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
TERMÉSZETI FÖLDRAJZI ÉS GEOINFORMATIKAI TANSZÉK

Egy esetleges gátszakadás hidrológiai hatásainak vizsgálata az Alsó-Tiszán

OTDK DOLGOZAT

Készítette:
Fehérváry István
Geográfus MSc szakos hallgató

Témavezető:
Dr. Kiss Tímea
docens

Szeged
2015

Tartalmi összefoglaló	2
Abstract	3
1. Bevezetés	4
2. Irodalmi előzmények.....	5
2.1 A gátak hatása a folyók hidrológiájára	5
2.2 Gátszakadások a Tiszán.....	8
2.2.1 Az 1879-es szegedi nagy árvíz	9
2.2.2 A 2001. évi tarpai gátszakadás	12
2.2 Modellek az árvízi előrejelzésben	16
2.2.1 A HEC-RAS modell	18
2.2.2 A MIKE by DHI modell.....	19
3. A mintaterület jellemzése	22
3.1.. A Tisza vízrajza.....	22
3.1.2 A Tisza szabályozása.....	24
3.2 Szűkebb mintaterület jellemzése	26
4. Vizsgálati módszerek	28
4.1 A HEC-RAS és HEC-GeoRAS szoftverek alapjainak elsajátítása.....	28
4.2 A modell előállítás.....	31
5 Eredmények.....	35
5.1 A tározásra szánt terület geomorfológiai jellemzői	35
5.2 Gátszakadás a tetőzés előtt 1 méterrel.....	37
5.3 Gátszakadás bekövetkezése tetőzéskor	43
6. Összegzés	47
Irodalomjegyzék.....	50
Internetes hivatkozások:	52
Függelék:	52

Tartalmi összefoglaló

Az Alsó-Tisza mentén az 1998-2006-os időszakban kétszer is megdőlt az 1970-es árvízi rekord, így összességében a rekord vízállás 80 cm-rel emelkedett. Részben az árvízvédelmi töltés folyamatos gyengülése miatt felmerült a kérdés, hogy egy esetleges gátszakadás következtében hogyan módosulnának a Tisza hidrológiai paraméterei.

A kutatás során célul tűztem ki, hogy a Tisza mindszei keresztshelvényében bekövetkező gátszakadás hatását modellezem a 2006-os árvíz adatai alapján, a tetőzéskor és a tetőzés előtt bekövetkező gátszakadás esetén. További céljaim voltak a maximális apasztó hatás, tetőzési szintek, az esés, és a munkavégző képesség változásának meghatározása a gátszakadás következtében.

A modellemben a gát egy csuszamlásokkal ténylegesen veszélyeztetett szakasza szakad át, és a víz a Dong-éri és a Sövényházi lokalizációs töltés által határolt területre folyik ki. Az előntést HEC-RAS 4.1 szoftverben szimuláltam, az ATIVIZIG által rendelkezésemre bocsájtott HEC-RAS Tisza modell alapján. A tározótér feltöltődésének modellezéséhez az ArcGIS 10.1 és HEC-GeoRAS eszközcsoomagot is alkalmaztam.

A Tisza hidrológiájában legnagyobb változások a szakadási shelvénnyben következtek be. Itt a legnagyobb apasztó hatás a $1,54 \pm 0,1$ m. Az apasztással érintett görbe legmagasabb vízállásainak és a modellezett árhullám legnagyobb vízállásai közötti különbség $0,78 \pm 0,1$ méternek adódott. A gátszakadás hatására a felvízi szakaszon az esés 4 cm/km-ről 6,5 cm-re emelkedett az apasztó hatás legnagyobb bekövetkezésekor, míg az alvízi szakaszon az esés 3,5 cm/km-ről 1,9 cm/km-re esett vissza. A gátszakadásakor a folyó munkavégző képessége a felvízi szakaszon nőtt 4 W/m-ről 5,5 W/m-re, míg az alvízi szakaszon jelentősen csökkent, 3,5 W/m-ről 1,5 W/m-re. Összehasonlítva a tetőzés előtt egy méterrel bekövetkező gátszakadás eredményeit a tetőzéskor bekövetkező gátszakadás eredményeivel elmondható, hogy nem befolyásolta jelentősen a kialakult legnagyobb apasztó hatást (1%) és esés változást (1%), ugyanakkor a nagyobb kezdeti vízállás hatására gyorsabban, 1 nappal korábban jelentkezett az apasztás maximuma, és a mentett oldalra befolyó víz is hamarabb elérte a maximum vízállást.

Abstract

Along the river Lower-Tisza the record height of the water level at the time of the flood in 1970 has been exceeded twice between 1998 and 2006 which resulted in the increase of the record level of water with 80 cm compared to the 1970 data. Due to the gradual weakening of the levee the question has arisen as in case a levee breach occurs how would it modify the hidrological parameters of the river.

The aim of my research was to create a model of the effects of a levee breach happening before and at the time of flood level being the highest at the cross section of the river Tisza at Mindszent by using the parameters of the flood in 2006 as a basis. This study also aimed to determine the influence of a levee breach concerning maximal diminution effect, peak flow changing, the fall of the river, and the stream power.

In the model that particular section of the levee breaches which is permanently endangered by flowages and which also gives way to the water to flow into the territory surrounded by the levee of the Dong-stream and the Sövényház . On the basis of the river Tisza model which was created with HEC-RAS programme by ATIVIZIG (Lower-Tisza District Water Directorate) I simulated the inundation of the mentioned territory with the software HEC-RAS 4.1. Other programmes (ArcGIS 10.1 and HEC-GeoRAS) were also used to make the model of the reservoir while being filled up.

The biggest changes in the hydrology of river Tisza occurred in the cross section where the levee breached. The maximal diminution effect was $1,54 \pm 0,1$ here. The difference between the highest water level of diminution profile and the flood which was simulated was $0,78 \pm 0,1$ m . As a result of the levee breach the fall of the river rose from 4cm/km to 6,5 cm/km in the upstream while in the downstream it decreased from 3,5 cm/km to 1,9 cm/km. At the same time the stream power rose from 4 W/m to 5,5W/m in the upstream while in the downstream it decreased from 3,5 W/m to 1,5 W/m. Comparing the results of the levee breach one meter before the peak flow with that when it reaches the peak flow it can be said that the latter one did not affect the maximal diminution effect (1%) and the fall of the river (1%). At the same time due to the higher initial water level the maximal diminution effect occurred one day in advance and the water flowing into the reservoir reached the maximal water level sooner than in the case when the levee breach occurred one meter before the peakflow.

1. Bevezetés

Napjainkban a természeti katasztrófák közül az árvizek okozzák a legnagyobb gazdasági károkat, és az áradások nagy fenyegetést jelentenek a vízfolyások környékén élőkre is, különösen, ha az elöntés váratlan és szokatlan esemény, például gátszakadás következménye (Yalcin és Akyurek 2004). Minden gátszakadás emberi tragédiák és jelentős károk hordozója, ezért fontos az árvízvédelmi tervek pontos elkészítése, amelyben a folyók hidrodinamikai modellezése jelentős segítséget nyújt.

Az Alsó-Tisza mentén az 1998-2006-os időszakban kétszer is megdőlt az 1970-es árvízi rekord, így összességében a rekord vízállás 80 cm-rel emelkedett. Részben az árvízvédelmi töltés folyamatos gyengülése miatt felmerült a kérdés, hogy egy esetleges lokalizált gátszakadás következtében hogyan módosulnának a Tisza hidrológiai paraméterei. Egy gátszakadás modellezése során kapott eredmények hasznos információkkal szolgálhatnak egy, az Új-Vásárhelyi tervben előirányozott tározó megépítésére és működtetésére vonatkozóan is.

Kutatásom célja, egy Mindszent melletti, a jobb parton bekövetkező gátszakadás hatásának modellezése és elemzése a 2006-os tiszai árvíz adatait felhasználva HEC-RAS szoftver környezetben. A modellezett gátszakadás egy olyan helyen történne, ahol az a valóságban is bekövetkezhethet, ugyanis Mindszennel szembeni a gát nagyon közel van a mederhez, és bár partbiztosítást építettek ki, ez napjainkra megsemmisült és csuszamlások veszélyeztetik a gátat. A modellben a gátszakadás során egy 60 méteres gátszakadási felületen folya a mentett oldalra a víz, amely „megrekedne” a Dong-éri és a Sövényházi töltések által határolt alacsony ártéri területen. A modellezés során céltom megvizsgálni, hogy a gátszakadás során bekövetkező apasztó hatás hogyan és milyen ütemben hat a Tisza vízállásaira, hogyan alakulnak az árhullámok tetőzési szintjei, az esés viszonyok és a munkavégző képesség. A modellt a tetőzés előtt és a tetőzéskor kialakuló gátszakadás esetében is lefuttatom, így összehasonlíthatóvá válik két eltérő dinamikájú gátszakadás hidrológiai körülményeinek vizsgálata.

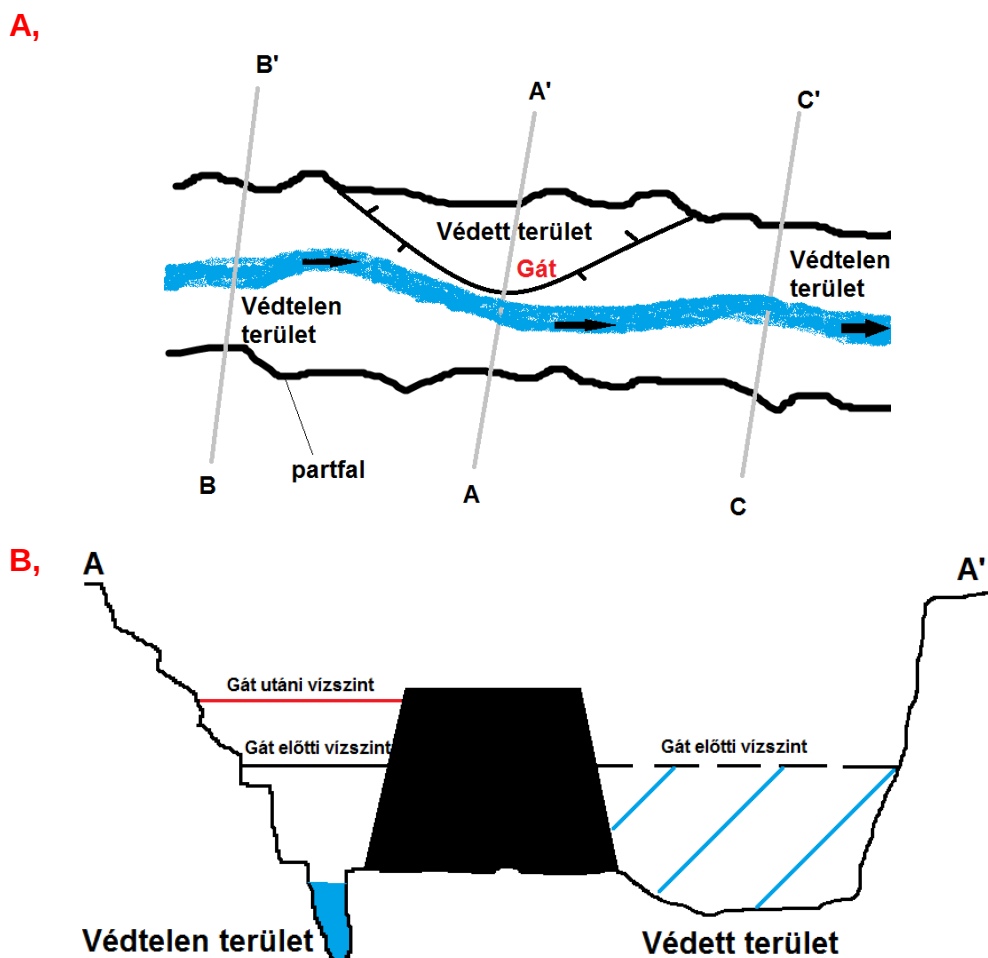
Eredményeim nemcsak egy lehetséges gátszakadás következményeinek miatt lehetnek hasznosak, de az Új-Vásárhelyi Tervben leendő Szegedi Tározó kialakításához is segítséget nyújthatnak.

2. Irodalmi előzmények

A kutatásom megfelelő elméleti megalapozáshoz először áttekintettem, hogy milyen hatása van az árvízvédelmi töltéseknek és a gátszakadásoknak a folyók hidrológiájára. Mivel a célkitűzéseimnek megfelelően egy gátszakadás hatásait modelleztem, ezért áttekintettem az 1879-es szegedi árvíz és a 2001-es tarpai gátszakadás történetét és következményeit, hiszen hasonló folyamatok léphetnek fel a modellezett területen is. Ezt követően néhány védekezésben és az előrejelzésben felhasználható hidrológiai modellező szoftvert mutatok be.

2.1 A gátak hatása a folyók hidrológiájára

Az árvízvédelmi töltések építésének célja, hogy megakadályozzák a gát mögötti természetes árterek elöntését. Ugyanakkor, azzal hogy az ártér leszűkül, megváltozik a vízfolyás vízjárása, hordalékszállítása és akár a medermorfológiája is. (Heine és Pinter 2012).



1. ábra: A gát és folyó térbeli kapcsolata, B a gátak általános hatása a vízállásokra

Általánosan elfogadott elmélet, hogy a gátak megemelik a vízállásokat árvíz idején (1.ábra), ugyanakkor az emelkedés mértékével kapcsolatban már a kutatók véleményei nem egyeznek. A gátak okozta vízállás emelkedésre vonatkozó különböző értékek a különböző alkalmazott vizsgálati módszerekből is adódnak:

1. Yen (1995) az energia megmaradás és a folytonossági egyenlet (*continuity equation*) alapján számolta ki a gátak okozta hidrológiai (vízállás vízhozam vízsebesség) változásokat egy elméleti folyóra vonatkoztatva. Ezeket az alapegyenleteket használják az elterjedt 1D modellezési programok (MIKE11, HEC-RAS, SOBEK stb. Heine és Pinter 2012). A számítások szerint a kitáguló hullámtéren a vízsebesség csökken, miközben ott ahol a gátak leszűkítik a hullámteret, ott nő a vízsebesség (Yen 1995). Bár ezek a következtetések logikusan következnek a hidrológia alapelveiből, valóságban mért adattal nem lettek alátámasztva

2. A legtöbb gát hatását vizsgáló hidrológiai tanulmány 1D modell (pl.:HEC-RAS) felhasználásával készült. Ezeknek a tanulmányoknak a nagy része egy adott projekthez készült el, így sokszor nem publikálják őket mérnöki vagy egyéb szaklapokban. Bár ezek a hidrológiai modell-tanulmányok biztosítják az alapját több lokális és regionális projektnek is, a tanulmányok eredménye nagymértékben függ a felhasználó által felmért és beállított modellparaméterektől. Például Mississippin St.Louis városánál végzett vizsgálatok célja a gátak miatt bekövetkezett vízszintemelkedés mértékének meghatározása volt. A vizsgálat során a kutatók eltérő eredményekre jutottak, mivel az eredmények 0,5 méter (Remo et. al. 2009) egészen 1,5 méter (Dyhouse 1985) között változtak. Az eredmények széles skálája annak tudható be, hogy a peremfeltételek és az input paraméterek szubjektívek lehetnek. A legszubjektívabb paraméter Demisse et. al (1997) szerint az érdességi tényező, vagyis a Manning-szám. Vizsgálatai szerint, ha az érdességi értéket 0.01-gyel megváltoztatták az akár több méteres vízszintkülönbséget is jelentett a mintaterület egyes részein. A legtöbb modellnek (1D modellek és 2D modellek nagy része) hátránya lehet még, hogy nem kezelik a hidrodinamikai folyamatok során fellépő impulzusátvételt (*momentum transfer*) amely csökkenti a mederben és az ártéren áramló víz sebességét (Heine és Pinter 2012).

3. A tapasztalati mérések során a jelenlegi és múltbeli hidrológia mérések adataiból próbálják meghatározni a gátépítések előtti és a gátépítések utáni trendeket a folyó hidrológiai paramétereiben. Számos tanulmány ír jelentős változásokról, vízszintesökkenésekről és növekedésekről egyaránt, konstans vízhozam mellett. A vízszintben csökkenő trendeket leíró tanulmányokban (ugyanolyan vízhozam feltételek mellett) a változás általában a meder bevágódásával magyarázható például, ahogy ez Missourin is történt (Heine és Lant 2009).

Más tanulmányok a vízszintek emelkedését írják (Pinter et al 2008): Az okok feltárásához Remo et al (2008; 2009) egy 1D modellt készítettek, amelyet a történeti idősorok alapján kalibrált. A vizsgálat során arra az eredményre jutottak, hogy a megemelkedett vízszintekért nagy részben felelősek a hajózást megkönnyítő mérnöki építmények (pl.: sarkantyúk, körakatok), és kisebb mértékben, az árvízvédelmi töltések, amelyek 1-2 méterrel emelték a vízszintet. Pinter et al (2008) egy többváltozós statisztikai modellt készítettek el amelyben több mint 4000 km folyószakaszon vizsgálták a Mississippi és a Missouri vízállásait és hasonló következtetésre jut, mint Remo et al. (2008, 2009). Pinter et al (2008) szerint is az árvízi vízszintek emelkedésében a legnagyobb szerepe a kiépült hajózási infrastruktúrának van, de jelentős változásokat (legtöbbször vízszintnövekedést, de lokálisan, néhány esetben csökkenést) okoznak a kiépült árvízvédelmi gátak is.

A gátak és töltések a folyó menti területek elöntésének védelmében jöttek létre, ugyanakkor a töltésekben és gátakban keletkező szerkezeti hibák és magasságihiányos szakaszok súlyos katasztrófákhoz vezethetnek. A részletes adatok egy gátszakadás kifejlődéséről és a kifolyó vízhozamokról kiemelt fontosságú a pontos előrejelző rendszerek és vésztervek kidolgozásakor. Azonban a gátszakadások megfigyelése és vizsgálata a hirtelenségük bekövetkezésnek és a kialakuló veszély következtében nehéz feladat. Ezért a legtöbb kutatás laboratóriumi mintakísérletekkel és szimulációs programokkal modellezi a kialakuló folyamatokat és változásokat (Yu 2013).

Yu (2013) a töltés meghágáskor létrejövő eróziót (*overtopping erosion*) vizsgálta nem kötött töltésanyag esetén laboratóriumi mintakísérletekkel és 2-D numerikus modellel. A kísérletek során kiderült, hogy a töltésmeghágáskor kialakuló erózió mértéke a folyó vízszintjétől, vízhozamától és a töltés anyagától és egyéb faktoroktól is függ. Nagyobb vízállás felett a szakadás és a folyamatok gyorsabban fejlődnek ki, továbbá minél nagyobb a vízhozam, annál nagyobb lesz a szakadás szélessége. A durvább szemcseösszetételű töltésanyagban kezdetben gyorsabban terjed a kialakult rés, majd lassabbá válik a szakadás fejlődése a kisebb szemcseátmérőjű töltésanyagban végbemenő szakadáshoz képest (Yu 2013)

Lomulder (2004) SOBEK 2D modellel vizsgálta egy kontrolált gátszakadás következményeit és becsülte fel a gazdasági károk mértékét az Elba egy szakaszán. A vizsgálatokat 28,—50 és 200 éves visszatérési idejű árvizekre is elvégezte gátszakadással és gátszakadás nélkül is. Célja annak megállapítása volt, hogy egy terület elárasztása volt kontrollált gátszakítás esetén, milyen mértékben csökkenti az árvízi károkat a folyó alvízi szakaszán. A modell—érzékenységi vizsgálata során a digitális domborzat modell, mint input

volt a legérzékenyebb paraméter, azaz bebizonyosodott, hogy az elöntési és kártérképek elkészítéséhez elengedhetetlen a minél nagyobb felbontású DDM (Lomulder 2004).

Borza (2008) a töltésszakadás tiszai vízállásokra gyakorolt hatását vizsgálta 1D hidraulikai modellezéssel az Alsó-Tiszán. A sebességmezők és a vízfelszín időbeli alakulását 2D SWAN modellel határozta meg. A modellezés segítségével elkészítette a sövényházi ártéri öblözet lokalizációs tervének felújítását.

LaRocque et al. (2013) egy méretarányos modell alapján a New Orleans 17. utcai csatornán bekövetkező gátszakadás áramlási viszonyait vizsgálták. Az elöntött városi területeken az áramlási mező modellezésekor a szabálytan épületalakzatokat is figyelembe vette. A sebesség mezők a gátszakadás és az áramlási pályák mentén a komplex áramlási mezőt alkottak, - az épületek mögött örvényszórák alakultak ki, az áramlatok kettéváltak az épületek sarkánál, és az alacsony sebességű zónák alakultak ki ott, ahol a csatornába visszahúzódott a víz.

Gátszakadás miatt hazánkban is bekövetkezett már árvízi katasztrófa. A következő fejezetben a Tisza folyón kialakuló legsúlyosabb gátszakadások előzményeit és következményeit fogom ismertetni.

2.2 Gátszakadások a Tiszán

Az árvízvédelmi gátszakadás során a gátban olyan nyílás alakul ki, melyen keresztül jelentős vízmennyiség jut a mentett oldalra. Ezen definíció alapján, a koronán átbukó víz nem jelent gátszakadást, mert nincs folytonossági hiány a gátban, a buzgárnál vagy fakadó víznél pedig nincs jelentős vízveszteség (Nagy 2013).

A magyar vízgazdálkodás gazdag történelmi hagyományokban. Az első adat 1662-ből származik, de az 1800 előtti árvizekről és azok következményeiről csak nagyon kevés információval rendelkezünk (Nagy 2008). Mára összesen 2858 kárpát-medencei gátszakadásról van ismeretünk (Nagy 2013), amelyekből kitűnik, hogy az árvízi védművek továbbfejlesztése és tökéletesítése komplex és fontos feladat (Nagy 2013).

Minden gátszakadás emberi tragédiák és jelentős károk hordozója. A víz elöntve telket, házat, vasutat és egyéb létesítményeket – akár évekig ellehetetleníti a gazdálkodást, nem is beszélve az esetleges sérültekről és halálestekről (Nagy 2013). A legtöbb gátszakadás az 1876, 1879, 1881 és 1888 években volt, amelyek elsősorban a Tisza mentén akkor végzett szabályozásokhoz köthető. Ugyanakkor külön figyelmet érdemelnek napjaink gátszakadásai, hiszen a XXI. században a Kárpát-medencében már 51 gátszakadás következett be, melyekből

49 a 2001-es felső-tiszai árvízhez köthető. Magyarországon az 1879-es szegedi illetve a 2001-es tarpai gátszakadás okozta a legnagyobb problémákat (Nagy 2008)., ezért ezekkel az esetekkel a dolgozat további részeiben kiemeltem is foglalkozom

2.2.1 Az 1879-es szegedi nagy árvíz

A szegedi nagy árvíz méreteiben és főleg következményeiben felülmúlta a Pestet és Budát előntő 1838. évi árvizet, –hiszen 160 emberéletet követelt, a város 6350 háza közül hatezret teljesen elpusztított és több mint hatvanezer ember vesztette el a otthonát. Ugyanakkor az árvíz fordulóponthoz jelentett a Tisza árvízvédelme, és az egész magyar árvízvédelem fejlődésének történetében (Dégen 1969).

Az 1879-es szegedi árvízkatasztrófa okait vizsgálva mindenekelőtt a rendkívül kedvezőtlen időjárási és vízjárési körülmények egybeesésére kell rámutatni. Mivel 1878 ősze rendkívül csapadékos volt (1. táblázat) így a Tisza vízállása már decemberben is magas volt. A további hófelhalmozódás, majd a február végi esőzésekkel együtt járó olvadásból származó víztömegek a már magas vízállással rendelkező Tiszán árhullámokat indítottak el, amelyek a Körös árhullámával találkoztak (Dégen 1969).

1 .táblázat:Az 1878-89-es csapadékvízviszonyok (mm) a sokévi átlaghoz viszonyítva október és február között (forrás: Dégen 1969)

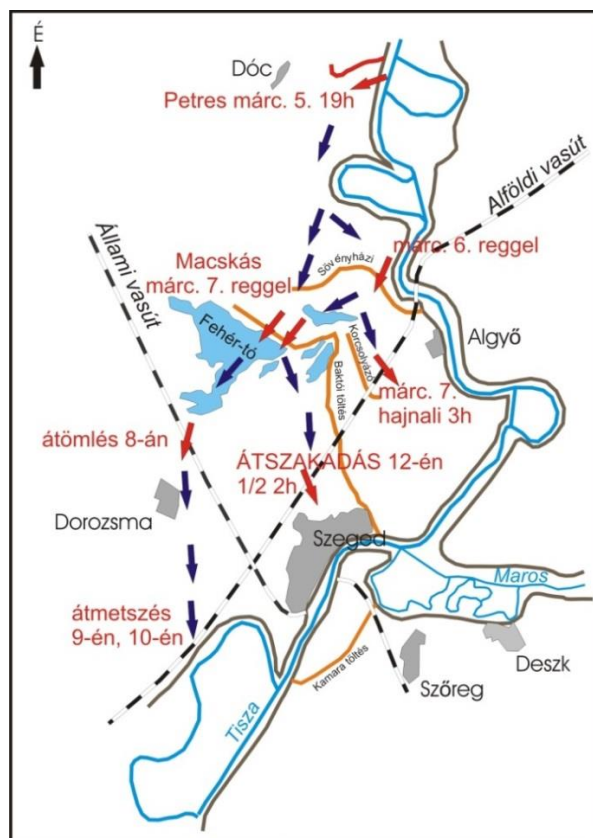
	október	november	december	január	február	csapadéktöbblet összesen (%)
1878-79	103	86	89	38	71	166 %
sokévi átlag	61	54	50	34	34	

A gátszakadás okai között a politikai és társadalmi viszonyokat is meg kell említenünk. Az állami feladatnak nyilvánított folyószabályozást különválasztották az árvízvédelmi töltések építésétől, amelyek viszont a társulatokba tömörült érdekeltek kizárólagos feladatává tettek. Mindezzel párosult a folyammérnöki hivatalok, a vízügyi igazgatás szervezetének leépítése, az állami ellenőrzés és irányítás lazasága, ami szabad utat nyitott az egyéni érdekek – elsősorban a nagybirtokosok érdekei – érvényesítésének. A Tisza-szabályozás ezen hibája a szegedi szakaszon fokozottan érvényesült, hiszen Szegedet olyan társulati szervezetbe kényszerítették, amely a várostól északra elterülő Pallavicini uradalom ármentesítését végezte, nagyrészt a város költségén (Dégen 1969). Ez viszont képtelenné tett a várost arra, hogy a közvetlen védelemhez szükséges gátrendszer építésének feladatát teljesítse. A Szeged – algyői öblözöttől elkülönülő, kizárólag a Pallavicini hitbizomány területére kiterjedő percsorai

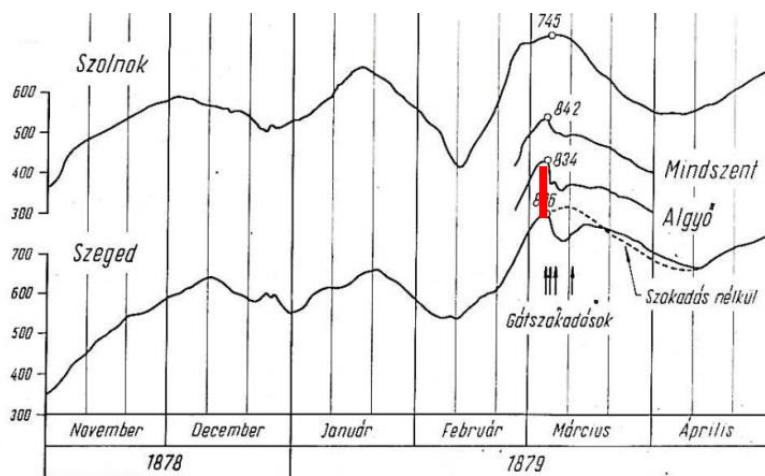
öblözet hozzácsatolásával több kilométer új, nehezen védhető töltésszakasz építésére kötelezték Szeged városát. Végül ez a pecsori töltésszakasz lett Szeged pusztulásának legfőbb oka (Dégen 1969).

A töltésrendszer hibáit súlyosbította, hogy az árvíz bekövetkezéséig a Tiszán épített 107 átvágás közül mindössze 39 fejlődött ki annyira, hogy átvegye az anyameder szerepét. A legsúlyosabb helyzet éppen a Csongrád – Szeged közötti, és a Szeged alatti szakaszon volt, ahol a 11 átvágásból csupán egy fejlődött ki. A legkezdetlegesebb állapotban éppen a Szeged alatti nagy átmetszés volt, amely az árvíz levonulása miatt kulcsfontosságú lett volna. Ezen tényezőket figyelembe véve a töltésrendszer átszakadása szinte elkerülhetetlen volt (Dégen 1969).

Szegedtől északra a petresi dűlőnél 1879. március 5-én 19 órakor keletkezett töltésszakadáson bezúduló víz megkezdte a Szeged városát is magába foglaló öblözet elárasztását (2. ábra). A gátszakadás az öblözet egyik legfelső pontján történt. A szakadási pont nagyon nehezen védhető, és megközelíthető volt, de mivel a keresztöltések épültek a Tisza gátja és a magas ártér között, ezért lokalizációja lehetségesnek látszott. Azonban a víz március 6-án reggel már át is bukkott a sövényházi kerésgáton és a Korcsolyázó töltés, a Szeged-Hódmezővásárhely vasúti töltés, illetve a Macskási - és a Szillér-Baktói által elhatárolt öblözetet kezdte feltölteni. Március 7-én kora hajnalban átszakadt a Macskási töltés, és a vasúti töltés. A macskási szakadáson átömlő víz Kiskundorozsma és Rókus városrész között okozott elárasztást, míg a vasúti töltés Algyőhöz közeli átszakadásán a víz Tápé felé áramlott. A város belterületét nyugat felől az vasút töltése még védte, észak felől pedig a Baktói-töltés déli szárnya. Március 8-án a Kiskundorozsma és Rókus között kiterülő víz szintje annyira megnövekedett, hogy áradásuk meghágta a vasúti fővonal töltését. A víz gyorsabb Tiszába vezetése érdekében március 9–10-én a Maty-híd közelében a töltésszakadáson két átvágást nyitottak (Gaál 1991). A tiszai vizek kiáradása valamint a Maroson bekövetkező apadás miatt a vízállás Szegednél 731-cm-re esett vissza, ami közel 70-cm-es apadást jelentett (3. ábra; Dégen 1969).



2. ábra: Az 1879-es árvíz terjedése térben is időben. Készítette: Fiala K.



3. ábra A Tisza vízállásainak alakulása az 1879 évi nagy árvízet megelőző és közvetlenül követő időszakban (Dégen 1969)

A március 11-én kitört vihar és erős szele egyenesen az vasút töltésének hajtotta a vizet és a szél által felkorbácsolt hullámok a vasúti töltést március 12-én hajnali 2 óra tájban mintegy 100 m hosszú szakaszon átszakították. Az árvíz akadálytalanul zúdult a városra, és néhány óra alatt a város víz alá került. Az árvíz előtt Lechner Lajos felmérése szerint 5713 épület, Reizner szerint csak 5595 épület volt Szegeden. Reizner a március 18-i vizsgálat alapján 414 épület fennmaradását említi, ebből 358 volt lakható (Gaál 1991).

Az apadás rendkívül lassú volt (3.ábra). Három hónappal Szeged elöntése után még csak a legmagasabban fekvő városrészek és a feltöltött utak váltak vízmentessé. Az augusztus 25-én készült térképeken a Palánk külső részén a mai Mars tér és környékén és a Felsővárosban még víz borította területek vannak. A város csak 1879 ősz elejére vált teljesen vízmentessé (Gaál 1991).

A katasztrófa bekövetkezése rávilágított arra, hogy a gátakat átszakító áradások ezen a kis esésű ártéri területen rendkívül gyorsan terjednek szét, viszont az apadás akár hosszú hónapokat is igénybe vehet. Az is kitűnt hogy, a keresztgátak elhelyezkedése és állapota kulcsfontosságú az árhullám terjedésének dinamikájában.

2.2.2 A 2001. évi tarpai gátszakadás

A 2001 márciusi felső-tiszai árvíz hidrológia vizsgálatát a hidrometeorológiai és vízrajzi adatok alapján végezte el a FETIKÖVIZIG (Konecsny 2004). A 2001. évi nagy árvizet megelőző 2000. november – 2001. február közötti időszakban a Felső-Tisza vízgyűjtőjén jelentéktelen volt az időszak átlagához viszonyított csapadéktöbblet (+5 mm, azaz +2%) Március eleji (2001. 03. 03. – 2001 03- 05) szélsőségesen csapadékos napok hatására helyeként a sokévi közepes havi csapadék 2-3 szorosa hullott le. Kárpátalján, több helyen 200 mm-t meghaladó csapadékot mértek a (max. 296 mm) amelyből. 70 mm hó formájában hullott. A vízgyűjtő-területre rázúdult esőből és a felmelegedés hatására keletkezett olvadékvízből származó vízmennyiség csak kis mértékben tárolható, hiszen a hegyvidéki lejtők felszínén a talaj jórészt fagyott és illetve a tél vége miatt a lombtalan erdők vízvisszatartása jelentéktelen volt (Konecsny 2004).

A folyók felső szakaszán 2001 március 3-ról 4-re virradó éjszaka heves áradás kezdődött. Összetett árhullám alakult ki, de a magyarországi folyószakaszokon lévő vízmérceszelvények árhullámképein már csak egy árhullám mutatkozott (Konecsny 2004).

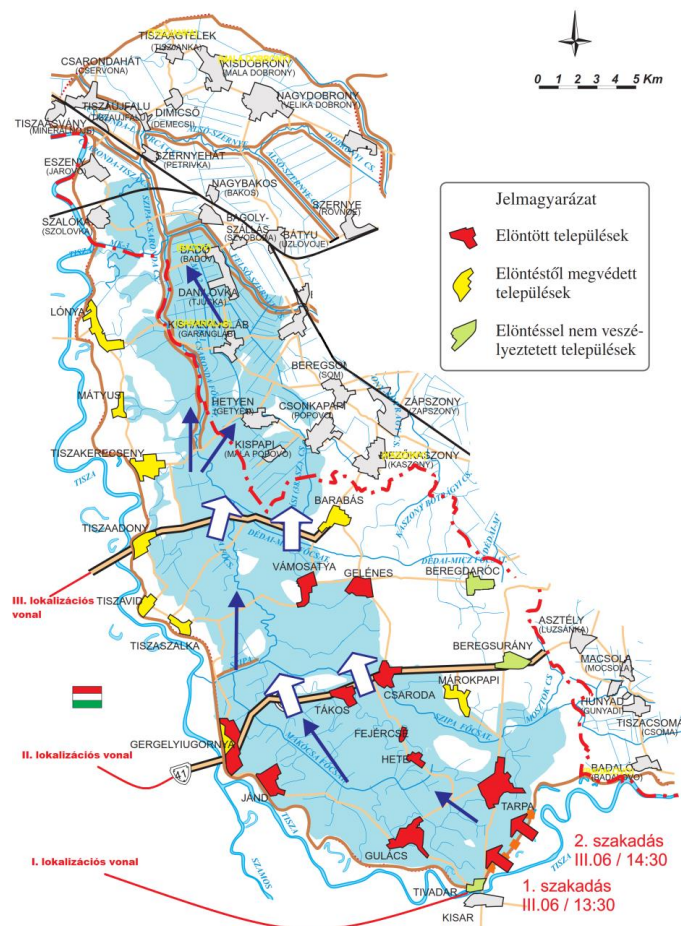
Az áradás intenzitása Tiszabecsnél március 4-én 4-6 óra között volt a legnagyobb 39 cm/óra. Tivadarnál még hevesebb volt az áramlás március 4-én 8-10 óra között 48 cm/óra. Az intenzív áradás a tetőzések magasságán is megfigyelhető, melyek sok helyen meghaladták az eddig mért legmagasabb vízállást (2. táblázat).

2. táblázat Az árvízi tetőzések észlelt magassága és eltérése az eddigi legmagasabb vízállásokhoz (Forrás Bodnár 2004)

<i>Vízmérce</i>	<i>Tetőző vízszint (cm)</i>	<i>Tetőzés ideje</i>	<i>Az LNV növekedésének mértéke (cm)</i>
<i>Rahó</i>	575	03.05. 16 óra	75
<i>Técső</i>	745	03.05. 16 óra	19
<i>Tiszabecs</i>	736	03.06. 5 óra	28
<i>Tivadar</i>	1014	03.06. 13,10 óra	56
<i>Vásárosnamény</i>	943	03.07. 10 óra	20
<i>Záhony</i>	758	03.09. 6 óra	7

Az árvíz tetőző vízállását befolyásolták a kárpátaljai és romániai folyószakaszon bekövetkezett töltésmeghágások, átfolyások és gátszakadások. A Tisza Tarpa és Tivadar közötti jobb parti töltésén március 6-án 13.30 és 14.30 között, a vízállástetőzéssel kb. egy időben két helyen meghágta és elmosta az árhullám a gátat. A két nyíláson a Tisza hullámteréből, kb 140 millió m³ víz folyt a Beregi-öblözet felé. Ezen a napon mérték a minden idők legnagyobb vízhozamát a Felső-Tiszán 4190 m³/s (Bodnár 2004).

A Beregi-öblözet területén a víz tározására holtágak, mély fekvésű területek állnak a rendelkezésre, egyéb tározási lehetőség nincs. A töltésszakadáson kiömlő víz gyorsan elérte az első lokalizációs vonalat, ami a Tivadar-Tarpa közötti műút (4. ábra). Az út a vizet kb. 3. órán át tartotta fel majd a víz a terepi esésével megegyezően a legmélyebb vonulatokon haladt végig Tizsakerecseny és Lónya útvonalon Ukrajna alacsonyabb területei felé. A Gulács és Tarpa közötti utat a víz március 6-án 17 óra tájban érte el (Bodnár 2003). A második lokalizációs vonalat, a Vásárosnamény–Beregsurány közötti főutat 2001 március 7-én reggel érte le a víz (4. ábra). Ez az út a víz levonulási irányára közel merőlegesen áll és bizonyos szakaszain a belvizek átvezetésére hidak és átereszek vannak, amelyeknek összesen kb. 100 m² a keresztmetszvény területük, de ezek nem tudták kellőképpen áteresztetni az árhullámot, így az ár március 7-én délután hosszú szakaszon ömlött át az út koronáján. Az elöntési folyamat szabályozása érdekében az utat átvágták (03.08-án 1 órakor Csarodánál és 2:30 kor Tákosnál), így a víz továbbvezetése szabályozottan, a legmélyebb vonulatokat követve vonult tovább, és a magasabban lévő települések nem kerültek a szabadon folyó víz útjába. (Bodnár 2004).



4 ábra A tarpai gátszakadások során a mentett oldalra jutó víz útvonala (forrás: Bodnár 2004)

A 41. sz. főúton átjutó víz Tiszaadony – Vámosatya irányba folyt tovább, majd meghágva a Tiszaadony-Barabás közötti utat (III. lokalizációs vonal) a Csaronda és a Dédai-Mitz csatornákon terjedt tovább (4. ábra). Ezután a víz egy része átfolyt a Tiszakerecseny – Heteny közötti úton és Lónyáig jutott ahol a Lónya és Harangláb közötti út felfogta. A víz másik része tovább folyt a Csaronda – főcsatorna mentén, ukrán területen lévő Eszenyi – zsilipig. Jelentős mennyiségű víz folyt át a határon ukrán területre, ahol a Csaronda és a Felső-Szernye töltései közé bezárt területeken okozott jelentős károkat (Bodnár 2004).

A Beregi-öblözet 20 településből hét került elöntésre (Csaroda, Gulács, Hetefejércse, Jánd, Tarpa, Tákos, Vámosatya), és víz alá került Geregelyiugornya és Gelénes egy része. Négy települést amelyeket a víz elért ideiglenes védmű védett (Bodnár 2004).

A Beregi öblözetbe mintegy 120-140 millió m^3 víz ömlött ki. Az elöntött öblözet helyzetét tekintve kulcskérdés volt a víztelenítés megfelelő ütemének biztosítása. A meglévő stabil szivattyútelepekkel összesen 47,3 m^3/s -os vízviasszavezető kapacitás állt rendelkezésre, míg a 100 m^3 -s-nyi gravitációs kivezetéssel csak a Tisza és a Latorca apadása után, lehetett élni. A víztelenítéshez az öblözet magyar és az ukrán részén maximálisan 145 mobilszivattyút

üzemeltettek összesen 29,34 m³/s teljesítménnyel. A rendkívüli erőfeszítések ellenére a vízborítás az öblözetben április 5-én, azaz 29 nap után szűnt meg tehát a kis esés miatt a lefolyás és víztelenítés itt is nagyon lassú volt, akárcsak a szegedi árvíz idején (Bodnár 2004).

Összegezve a gátszakadáshoz vezető okokat a következők emelhetők ki (Bodnár 2004).

Meglévő adottságok:

- nem előírt magasságú töltéstest;
- kis töltéskeresztmetszet;
- laza előregedet töltéstest.

Közvetlen kiváltó és, együttesen ható tényezők;

- korábbi intenzív csapadék hatására telített töltéstest;
- rendkívüli terhelés következtében kialakult szivárgási nyomás;
- helyenként nyúlógátat időszakosan átlépő víz.

Az összehasonlító elemzések és a valószínűség vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a 2001. márciusi felső-tiszai árhullám méretei több szempontból is egyedülállók voltak a folyószabályozások óta eltelt mintegy másfél évszázadban, de ennek ellenére nem tekintető rendkívülinek, és ekkora méretű árhullám bekövetkezésére a jövőben is számítani lehet (Illés 2004)

Az 1879-es szegedi árvíz és a tarpai gátszakadást okozó 2001-es felső-tisza völgyi árvíz térben és időben távol vannak egymástól, mégis több hasonlóságot fel lehet fedezni közöttük. A kiváltó okokat tekintve mindkét áradás során kulcsszerepet játszottak a heves március eleji esőzések, amelyek a hó gyors olvadásával párosultak. A gátszakadások mindkét esetben a töltésrendszer nem megfelelő műszaki állapotának is köszönhetőek. A gátszakadás után a mentett oldal a topográfiai viszonyai is kedvezőtlenül hatottak, hiszen bár voltak az árhullámok útját keresztező lokalizációs töltések, utak, vasutak ezek nem megfelelő magassága és állapota nem volt elégséges az árhullám megállításához. Az elöntés gyors ütemben zajlott mindkét esetben azonban a gátszakadások után vízzel feltöltődő öblözetekben csak nagyon lassan apadt le a víz. A 2001-es árvíz utáni gyorsabb vízmentesítés a fejlettebb műszaki háttérnek volt köszönhető. Mindkét árvíz tanulsággal szolgált az árvíz-mentesítési és védekezési munkálatok vezetői számára és felhívták a figyelmet a korszerű előrejelzés és védekezés fontosságára is. Napjainkban a védekezésben valamint az előrejelzésben az egyik legnagyobb segítséget a hidrológia modellező szoftverek nyújthatják.

2.2 Modellek az árvízi előrejelzésben

Napjainkban a természeti katasztrófák közül az árvizek okozzák a legnagyobb gazdasági károkat mivel az árvízzel veszélyeztetett területeken gyarapodó anyagi javak és népességszám jellemző (Yalcin és Akyurek 2004). Az árvízi veszély alulbecslése a bekövetkező katasztrófa pusztítást növelheti, ugyanakkor a felesleges felülbecslés az árvízi védelem költségeinek növekedését okozza. A nem megfelelő vagy hiányzó árvízvédelmi tervek jelentős károkkal járhatnak. A megfelelő árvízvédelmi tervek elkészítéséhez az árhullám térbeli kiterjedésének és mélységének meghatározása szükséges az idő függvényében, 1 vagy 2 dimenzióban (Pramanik et al. 2010), amit hidrodinamikai modellezéssel lehet megoldani.

Többféle numerikus modellt fejlesztettek ki az árvízi előntések modellezésére amelyeket három kategóriába sorolhatunk: egydimenziós (1D), kétdimenziós (2D), és az egydimenziós folyó áramlási modell kombinációja a kétdimenziós ártér modellel (1D-2D). Az egydimenziós numerikus modellek népszerűek a viszonylag gyors számítási idő és az egyszerű kezelés miatt, ugyanakkor a sokszor nem kivitelezhető velük a kellő pontosság. Ennek a megoldására alkalmazhatóak a 2D modellek. A 2D modellek hátránya a lényegesen hosszabb futatási idő és a nagyfelbontású rácsháló szükséglete. Az összekapcsolt 1D-2D modellben mindkét modellfajta erősségeit ötvözik, a folyómederben lévő áramlatot 1D modellel szimulálják, míg az ártérre kiömlő vizet 2D modellel. Az 1D-2D modellek általában nagyon drágák és hátrányuk két modell fenntartása egy helyett. Ezen okokból egy alternatív megoldás lehet a kvázi kétdimenziós modellek alkalmazása, melyek az árvízi előntés egyszerűsített 2D ábrázolást kombinálják a gyors lefutású számítási algoritmussal (Kourgialas és Karatzas 2013).

A modellek használata a hidrológiában az 1960-as években kezdődött el, a mederbeli nyíltfelszínű vízmozgás és a porózus közegekben lévő szivárgás egyszerűbb feltételek közötti leírásával. A 1970-es években jelentek meg olyan modellek, amelyek a nem permanens vízmozgások leírására is alkalmasak voltak. A hidrológiai modellek továbbfejlesztéséhez nagy lökést adtak 1980 években megalakult hidraulikai kutatóintézetek. A 1990-es évekre már bonyolult rendszereket leképező szoftver családok váltak elérhetővé melyek nagy segítséget nyújtottak a vízgazdálkodásban. Mára elérkeztünk a fejlődés egy olyan szintjére, ahol a modell már szinte "mindent tud", de kérdés, hogy az eredmény hogyan viszonyul a valóságos természethez. Az áramlási jelenségek modellezésénél lényeges szerepet játszanak olyan tapasztalati paraméterek, amelyek felvétele döntően megszabja a számszerű végeredményt. Ilyen nehezen meghatározható tapasztalati paraméter például az érdességi tényező, a diffúziós/diszperziós tényező, és a szivárgási tényező. De a numerikus modellektől

csak akkor várható jó eredmény, ha a határ – és a kezdeti feltételeket megfelelően választottuk meg (Starosolszky 1996).

A numerikus modellek megjelenése és elterjedése olyan következtetések levonására is biztatott, hogy a modellek teljesen képesek szimulálni a természetben lejátszódó folyamatokat. A modellek a jelenségek hasonlóságát az ún. kisminta kísérletekkel vizsgálják a Froude és a Reynolds modelltörvények alapján. A kisminta kísérletek célja lehet:

- a természetben előforduló jelenségek megismerése leírása;
- a vízepítési beavatkozásoknak a természeti folyamatokra gyakorolt hatásának előrejelzése;
- a jelenségek számszerűsítéséhez szükséges paraméterek meghatározása;
- a kedvezőtlen állapotok elhárítása érdekében szükséges beavatkozások megtervezése (Starosolszky 1996).

A kisminta kísérletek is rendelkeznek hátrányokkal, például a helyigény és a vízmozgás jellegének megtartása nélkülözhetetlenné teszi a mélységek torzítását, azaz a mélység kisebb mértékű kicsinyítését, mint a hossz és szélesség csökkenését (Starosolszky 1996).

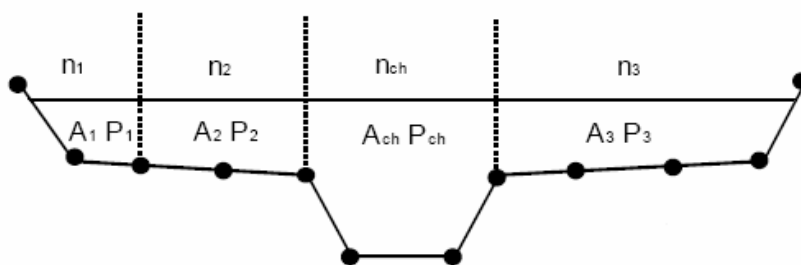
Mindkét modellfajta pozitívumainak kiaknázására a nemzetközi gyakorlat egyre inkább a két módszer együttes, vagy egymást kiegészítő alkalmazását részesíti előnyben. Hosszabb folyószakaszokon a numerikus modellezés látszik előnyösebbnek, míg a műtárgyak környezetében végbemenő folyamatoknál a fizikai modellezés tájékoztat jobban (Starosolszky. 1996) szerint.

Árvízi elöntés modellezése elterjedt a külföldi gyakorlatban. Például Sepheri et al (2009) a Gorgon Rood folyón készítettek elöntés modellt több méretarányban, földrajzi adatok alapján GIS használatával. Amini (2009) a Chay folyón GIS és hidraulikai modellek kombinációjával kísérlete meg az árvíz modellezését. Kimitro és Islam (2000) egy bangladesi árvíz kockázati térképét készítették el, mely 5 kockázati kategóriába sorolta az elöntéssel veszélyeztetett területeket. Young et al. (2000) megalkottak egy rendszert (GFIS) mely taiwani árvízi elöntések modellezésére adott lehetőséget. Safari (2001) HEC-RAS használatával állapította meg az árvíz által veszélyeztetett területeket a Nekla folyón. Motei et al (2002) a Sefid Rood folyó elöntési térképét készítették el HEC-Geo-RAS segítségével, hidraulikai modellt GIS-szel kombinálták, ami pontos értéket adhat az árvíz magasságáról és lefutásáról (Kamanbedast és Esfandiar 2011).

2.2.1 A HEC-RAS modell

Az egyik legelterjedtebb, vízügyi előrejelzésben használt modell HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System). Az interaktív használatra kifejlesztett integrált szoftver rendszer, egy több modult felhasználó környezetben működik. A HEC-RAS egy egydimenziós, lineáris modell, amely keresztaszvénnyek helyes sorba rendezésével képes pszeudo 3-D kép előállítására. A modell alkalmas akár egyidejűleg fellépő áramló és rohanó vízmozgás számítására, ezen kívül pedig részletesen be lehet építeni különböző vízépítési létesítményeket is (Pregun. 2009).

A HEC-RAS program egyik sajátossága hogy a keresztaszvénnyeket a főmederre illetve bal és jobb oldali hullámtérre osztja (5. ábra), és ezeken az szvénnyrészeken külön-külön számolja a kialakuló sebességet és rész-vízhozamot, majd a részhozamokat összegzi. A modell keresztaszvénnyenként egyetlen vízszintet számol ki, így a külön mellékágakban lokálisan kialakuló magasabb vagy alacsonyabb vízszintek nem jelenhetnek meg (HEC-RAS Hydraulic Reference 2010).



5. ábra Keresztaszvénny felépítése a HEC-RAS-ban (HEC-RAS-Hydraulic Reference 2010)

A HEC-RAS modell input adatainak szükséglete (Pregun 2009):

- a meder geometriai adatai (keresztaszvénnyek, X-Y-Z EOY koordináták);
- Határfeltételek: vízállás, vagy vízhozam görbe adatok ;
- A meder érdességi tényezők (Manning féle n -értékek).

A meder érdességi tényező értékét befolyásolja többek között a mederfelszín súrlódási ellenállása, a hullámerózióval szembeni ellenálló képessége a növényzet kiterjedése és összetétele (HEC-RAS Hydraulic Reference 2010). Ezen értéket összetettsége miatt nehéz meghatározni, ezért ezt tapasztalati úton teszik. A módszer során HEC-RAS-ba behívjuk az vizsgált terület keresztaszvénnyeit és a közelmúlt árvizeit szimuláljuk a már meglévő vízállás

és vízhozam adatok alapján, majd az érdességi tényezőt úgy változtatjuk, hogy a szimulált adatok minél jobban közelítsék a valóságot. Ez a módszer nagyon időigényes, hosszabb folyószakaszt vizsgálva és nem mindig állnak rendelkezésre a kellő adatok, ezért léteznek már modellek, melyek az n értékét (érdességi tényező) matematikai és statisztikai módszerekkel adják meg (Safari 2001).

A medergeometriai adatok alapján a víztest alakjának jellemezhető. A szükséges alapadatok geodéziai, hidrográfiai, valamint távérzékelési és térinformatikai módszerekkel egyaránt mérhetők. A modellezet hidro-morfológiai paraméterek például:

- maximális medermélység (m);
- nedvesített keresztmetszeti terület;
- víztükör szélesség;
- vízhozam;
- átlagos vízsebesség.

A HEC-RAS és az ArcGIS között a HEC-GeoRAS teremt kapcsolatot. A HEC-GeoRAS az ArcMap-ben található olyan eszközcsoport, ami arra használható, hogy összekösse a digitális domborzati adatot, a térbeli elemzéssel, ami a vízhálózatban levonuló ár mélyégi és sebességi viszonyait jeleníti meg (Haghizadeh et al. 2012).

Az HEC-RAS-ba importálható fájl létrehozásához a felhasználónak rendelkeznie kell egy TIN formátumú domborzati adattal. Ez alapján a felhasználó elkészíti a geometria adatot a GeoRAS eszközcsoport segítségével ArcMapben, ami a középvonal, a sodorvonal, a töltések és a mederkeresztmetszvények helyének megadásából jön létre. Az ArcMapből exportált geometriai adatok alapján pedig a HEC-RAS-ban kiszámolhatóak a vízfelszín és vízsebesség adatok. Ezeket az adatokat ArcMapbe importálva HEC-GeoRAS eszközcsoport segítségével megjeleníthetők a domborzatmodellen az előtöltött területek, az árvízi károk becsülhetők, és árvízi védekezéshez használható térképek és ábrák készíthetők (Haghizadeh et al. 2012).

2.2.2 A MIKE by DHI modell

A hidraulikai numerikus modellezés területén úttörő szerepet játszott a Dán Hidraulikai Intézet által az 1970-es években kifejlesztett MIKE modell. (Józsa 2001) A MIKE 11 egy felső kategóriás hidrológiai modellező program, amely a legtöbb alkalmazási területet fedi le más programokkal összehasonlítva. A MIKE 11 alkalmazásai([1]):

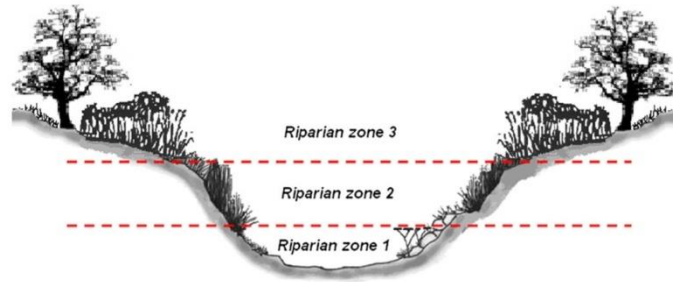
- árvíz hidrológiai tanulmányozása és árvízvédelmi tanulmányok készítése;
- valós idejű árvíz előrejelzés;

- gátszakadás vizsgálat;
- ökológiai és vízminőségi értékelések folyóvidékeken és vizes területeken;
- csatornarendszerek tervezése és, optimalizálása;
- hordalék szállítás és a folyó morfológiai alakulásának vizsgálata;
- só-intúríók vizsgálata tölcsértorkolatokban;
- vizenyős területek helyreállításának lehetőségei ([2]).

A MIKE szoftver gyakorlati jelentőségét jól mutatja, hogy nélkülözhetetlen eszköze volt a skandináviai tengeri hídépítési projektek tervezési és hatásvizsgálati munkálatainak. Továbbá alternatívája lehet a hidraulikai kisminta-vizsgálatoknak és az árapály és a vihardagály keltette nem permanens áramlások vizsgálatának (Józsa 2001).

Mielőtt futatnánk a MIKE szoftvert a bementi adatokat elő kell készíteni és meg kell adni. A bemenő adatok a következők: a folyó-hálózatot tartalmazó fájl, a keresztszelvényeket tároló fájl, a hidrodinamikai paramétereket behívó fájl és a határokat megadó fájl. A folyó – hálózatot tartalmazó fájl megadja a folyóhálózatot és a viszonyítási keresztszelvényeket továbbá egy grafikai áttekintést nyújt a modellről az aktuális szimulációban (Karatzas et al. 2012). A keresztszelvényeket tartalmazó fájl részletes és pontos adatokkal látja el a felhasználót a keresztszelvényekről, ami kiemelt fontosságú a hidrodinamikai modellezésben. A keresztszelvényeket tartalmazó fájlban vannak a folyó mentén, felvett mederkeresztaszelvények adatai (Karatzas et al. 2012). A határfelület fájl tartalmazza a határ feltételeket (pl: vízállás és vízhozam adatok) idősoros formában (Karatzas et al. 2013). A hidrodinamikai paraméter fájl pedig tartalmazza a folyóhálózat mederének és a hullámtérének ellenállását. Az ellenállást a Manning együttható (n) fejezi ki melynek értéke 0,01 és 0,1 között változik. A MIKE 11 modell három vegetációs zónára osztja a medret, 3 különböző ellenállási értékkel. Ezek a zónák a következők (5.ábra) :

- 1. vegetációs zóna, a mederfenéken és a meder alsó részén, az alacsony és közepes vízállások szintje, ahol részleges növényborítás található vízi növényekkel például hinarakkal.
- 2. vegetációs zóna a partokon a közepes és magas vízállások szintjét jelenti. Ebben a zónában már megtelepednek a nagyobb vízi növények például sás-és nádfélék.
- 3. vegetációs zóna: az árvizek leírására alkalmas ide tartozik az ártéren élő növényzet, ami fűfélékből, és fás szárúakból is állhat (Karatzas et al. 2012).



6. ábra a vegetációs zónák MIKE 11 szoftverben (forrás: Karatzas et al. 2013)

A MIKE 11 program a fent említett tagozódást figyelembe véve alkalmazható a Manning érdességi együttható (n) változtatásának térbeli és időbeli vizsgálata. A hidrodinamikai fájl tartalmazza továbbá a vetületi adatokat, a dimenziókat és a térkép típusát is (Karatzas et al. 2013).

MIKE FLOOD

A MIKE FLOOD egy elöntés-modellező szoftver, széles választékot nyújt az 1D és 2D elöntés szimulációs motoroknak akár folyók, öntésterületek, városi elöntések csatornahálózatok, tengerparti területek vagy gátszakadások esetében. A MIKE FLOOD alkalmazható bármilyen léptékben, a lokálistól egészen regionális modellig. Tipikus MIKE FLOOD alkalmazások:

- Gyors elöntés értékelés;
- Árvíz kockázati térképezés;
- Árvíz kockázati vizsgálat ipari, lakó vagy kulturális örökségek területén;
- Árvízi tervezés, evakuációs tervek készítése;
- Klímaváltozási hatásvizsgálatok;
- Árvíz védekezési hibák tanulmányozása;
- Integrált városi csatornahálózat, folyami és tengerparti modellezés ([1]).

A MIKE FLOOD 1D és 2D szimulációs motorokkal is rendelkezik. Az 1D motorok folyókra és nyíltfelszínű csatornákra alkalmazhatóak, míg a 2D motorok nagyobb felbontású DEM adatok alapján számítási hálót alkalmaznak. Bukók és átereszek nagy választéka kezelhető mind az 1D mind a 2D motorokkal. Az említett motorok rendelkeznek advekcio-diszperzió modellel is. Az 1D és 2D modellek összekapcsolhatóak, ami lehetőséget nyújt komplex problémák vizsgálatára, például, a városi elöntéseket szivattyúknál, bukóknál, egyéb vízkieresztési pontoknál összekapcsolt modellekkel szimulálja. ([2]).

3. A mintaterület jellemzése

3.1.. A Tisza vízrajza

A Tisza forrásvidéken klasszikus értelemben vett mederről nem beszélhetünk. A folyó –, ezen felső szakaszán a völgy esése 20-50 m/km, így nagyobb esőzések után heves árvizek alakulhatnak ki, viszont a száraz időszakban alig csörgedezik a mederben némi víz (Lászlóffy 1982). A Fekete– és a Fehér-Tisza egyesüléséből létrejövő, hegyi patak jellegű Tisza már sekély mederrel rendelkezik, és a Visó befolyásánál esése 2 m/km-re csökken (Lászlóffy 1982). Mivel a Borsa beömlése alatt már csak 13 cm/km az esése – így a szállított hordalék finomabbá válik, és megváltozik a meder jellege is. Míg a nagy esésű szakaszokon több ágra szakad és medrét kavicspadok tagolják, addig a Borsa torkolata alatt a Tisza már kanyargó, egységes mederben folytatja útját. Az Alföldre érve mélyen beágyazottá válik a Tisza medre, és itt már árvízvédelmi töltések korlátozzák az árvizek szétterülését. A Szamos beömlésénél a folyó esése már csak 8,8 cm/km, majd a Bodrog torkolata után az esése tovább csökken a 3,7 cm/km körülire, így a mederben a feltöltés dominál. Ugyanakkor Kisköre és Szeged között a Tisza újra kanyarogva bevágódó jellegűvé válik, mivel a Maros torkolatig nem kap érdemi hordalék–utánpótlást. A Maros torkolatától újból a feltöltő tevékenység – dominál és a Tisza esése a Duna eléréséig folyamatosan csökken (Lászlóffy 1982). Az Alsó-Tiszán az esés értékeit részletesebben vizsgálva megfigyelhető, hogy Tiszaug és Csongrád között az esés 4 cm/km körüli értékre nő, majd Csongrádtól lefelé haladva az esés csökken, Mindszent és Szeged között már csak 2-2,5 cm/km a Tisza átlagos vízszint esése (Bezdán 2010).

A vízfolyások közvetlenül megfigyelhető tulajdonsága a víz sebessége, ami ugyanazon szelvényen belül nem egyenletes, hiszen a víz sebessége a sodorvonalban a vízfelszín közelében a legnagyobb. Egy szelvényen belül a sebesség a vízfolyás esésétől a vízmélységtől és a meder érdességétől függ. A műszaki életben a mederszelvény középsebessége a mérvadó, míg pl. a hajózásban a legnagyobb felszíni sebesség a fontos. Hidrológiai vizsgálatoknál a kisvízi sebességet mérik, így iktatják ki a vízállás okozta sebesség–ingadozásokat. A Tisza felső szakaszán a víz sebessége eléri a 2-3 m/s-ot, majd esés csökkenésével a kisvízi sebesség az Alföld peremén 1 m/s-ra csökken, majd az Alföldön középsebessége egészen 0,15-0,25 m/s-ra csökken (Lászlóffy 1982). Az Alsó-Tiszán –(Szentésnél) a víz sebessége kisvízkor 0,1-0,4 m/s, míg középvízkor 0,6-0,9 m/s, nagyvízkor pedig 1,5 m/s. A felsorolt értékek a Tisza ingadozó vízjárását tükrözik (Fiala et al. 2006)

A vízszállítás ez egyes években az időjárásnak megfelelően változik. Az átlagos évi vízhozam a Tiszán 26,2 milliárd m³ (Lászlóffy 1982), de ez a szélsőséges években felére csökkenhet, vagy akár a duplájára is nőhet. Az évek közötti eltéréseken kívül éven belül is megfigyelhetünk egyfajta ritmust a vízhozam ingadozásában. Tavasszal a vízhozam megnövekedése a tavasz eleji hóolvadással és a nyár eleji csapadékmaximummal áll szoros összefüggésben. A vízgyűjtőn kisebb eltérések tapasztalhatók- a domborzat és a helyi éghajlati sajátosságok függvényében, de általánosságban jellemző hogy a hóban tárolt vizek lefolyása után csökken a vízszállítása. A Tisza vízjárása mediterrán hatást is tükröz, amely a novemberi – decemberi csapadékmaximumban mutatkozik meg (Lászlóffy 1982). Az Alsó Tiszán (Csongrádnál) a kisvízkor 115 m³/s, közepes vízállásnál 550 m³/s míg árvizek idején 3630 m³/s körüli vízhozam értékek mérhetőek (Fiala et al). A Tisza vízhozamát a mellékfolyók is meghatározták. A legnagyobb vízhozammal és vízgyűjtőterülettel a Maros (Q_{átl}: 155 m³/s) rendelkezik majd, a Szamos (Q_{átl}: 120 m³/s) és a Hármas-Körös (Q_{átl}: 105 m³/s) (Lászlóffy 1982). A kisvizek a Tiszán legtöbbször nyár végén és kora ősszel fordulnak elő, a nagy párolgás és a kevés csapadék következtében, de a kiváltó ok lehet a fagy miatt megszűnő lefolyás is. Az Alsó-Tiszán az eddig mért LKV szintjeit a táblázat 3. táblázat mutatja, de a törökbecsei visszaduzzasztás óta a kisvizek szintje emelkedett, Szegednél például 2 méterrel.

3 táblázat: Az Alsó-Tiszán mért legkisebb vízszintek (Rakonczai 2011)

Vízmérce	LKV
Csongrád	- 357 cm
Mindszent	- 293 cm
Algyő	- 245 cm
Szeged	- 250 cm
Tiszasziget	50 cm

Az árvizek időtartama függ az esésviszonyoktól a csapadék és hóolvadás időbeli eloszlásától, az árhullámok egymásra torlódásától, illetve a mellékfolyók és a Duna visszaduzzasztó hatásától (Vágás 1982). Az Alsó-Tiszán (4. táblázat) a 20. században Mindszentnél kétszer is (2001 és 2006) megdőlt az LNV rekord.

4 táblázat: Az Alsó-Tiszán mért LNV szintek (Rakonczai 2011)

Vízmérce	LNV
Csongrád	1037 cm
Mindszent	1062 cm
Algyő	1056 cm
Szeged	1009 cm
Tiszasziget	982 cm

A víztükör szélessége és a meder mélysége térben és időben is folyamatosan változik. A középvízi meder átlagos szélessége a Tisza alföldi szakaszán 191-236 m között változik. A legkisebb szűkület Mindszentnél 95 m (220,5 fkm) találjuk, míg a víztükör szélesség maximuma Zemplémagárdnál 420 m (618,8 fkm) mérhető (Lászlóffy 1982).

3.1.2 A Tisza szabályozása

Az árvizek a Tiszán napjainkban is óriási problémákat és okoznak, de arányaiban mindezek eltörpülnek a szabályozások előtti problémákhoz és kihívásokhoz képest, amelyekről csak a korabeli leírások és térképek alapján kaphatunk hű képet.

A Tisza menti területek az ármentesítés előtt mocsaras- és vizenyős területek voltak. Természetes állapotában az árvizek rendkívül nagy területeket (kb. 19.000 km²) érintettek, és akár több hónapig is eltartottak (Ihrig 1973). Ezek részint arra vezethető vissza, hogy a Tisza lefolyási tényezői rendkívül kedvezőtlenek voltak. A vízgyűjtő nagy részén az esés 1-3 cm/km körül mozgott, ami azt eredményezte, hogy a felső szakasról és a mellékfolyókból meginduló árhullámok találkoztak egymással és így hatalmas területek maradtak hónapokig víz alatt. Tovább rontotta a helyzetet a Körös és Berettyó menti területek lassú süllyedése, amelynek hatására a folyóhátak mögött lefolyástalan területek és, - mocsarak alakultak ki (Dunka et al. 1996). Az óriási mocsárvidékek kialakulásában a természeti okokon kívül emberi hatások is közrejátszottak, mivel védelmi és hadászati célokból várkokokat és mocsarakat alakítottak ki a török időkben, amelyeket, a folyók vizének elterelésével töltöttek fel. Az elmocsarasodást a Tisza vízgyűjtőjén működő csaknem tízezer vízimalom is elősegítette, amelyek a szükséges vízszintkülönbséget a vízfolyások elgátolással állították elő. Ezek a malomgátak a meder feliszapolódásához vezettek és tovább rontották a meder vízelvezető képességét és hajózhatóságát (Ihrig 1973).

A gazdaság fejlődése azonban szükségessé tette a második honfoglalásként is emlegetett, tiszai szabályozási munkákat. A szabályozási koncepciót Vásárhelyi Pál készítette el, melyben megfogalmazza, hogy a beavatkozások legfontosabb feladata az árvizek korlátozása és a hajózás könnyítése (Dunka et al. 1996). A koncepció sikerét Vásárhelyi a folyó esésének növelésében látta, ezért 102 átvágást tervezett a Tiszaújlaktól alatti szakaszon, ami 452 km-rel rövidítette volna a Tisza hosszát. A szabályozási koncepció mögött hatalmas mennyiségű adat állt, amely a több évig tartó felmérések eredménye volt. A műszaki tervek és a gyakorlati tudása birtokában Vásárhelyi a Tiszán a töltésezést felülről lefelé, a kanyarulatok átvágását pedig alulról felfelé javasolta (Dunka et al. 1996). Tervét azonban nem tudta kivitelezni, mivel 1846-ban hirtelen elhunyt így a szabályozások irányítását Pietro Paleocapa vette át. Paleocapa tervében- a Vásárhelyi tervvel összevetve, lényegesen kevesebb átvágás és szélesebb hullámterek szerepeltek. A szabályozások 1846-ban kezdődtek és lényegi részük a Tiszán és mellékfolyóin az első világháború előtt befejeződött. Ennek köszönhetően a Tiszaújlak–Titel közötti 1214 km-es folyószakaszon 102 sikeres kanyarulat-átvágást hajtottak végre, amelyeknek eredményeképpen a folyó 38%-al (453-km-rel) rövidült le (Ihrig 1973). Az ármentesítési munkák során a Tisza mentén 2940 km hosszú gátrendszert hoztak létre, így az eredetileg néhol több tíz km széles ártér 0,2-5 km szélességű hullámtérre zsugorodott (Lászlóffy 1982). Ezek a munkálatok még Európában is egyedülállóak voltak nagyságukat és fontosságukat tekintve, de a megoldandó kihívások és nehézségek is rekordmértékűek voltak. Például a szabályozások megkezdésekor az 1848-as szabadságharc gördítet akadályt a terv elé, majd az elkövetkező évtizedekben sorra dőltek meg az árvizek szintjei és az aszályok által okozott gazdasági károk mértéke, amely a szabályozásokba vetett hitet csökkentette a lakosság körében. Tovább rontották a helyzetet a társulati vitáknak és az egységes vezetés hiánya (Ihrig 1973). A vízimunkák befejeződésével virágzásnak indult a belterjes mezőgazdaság, az áruk szállításhoz szükséges új utak és vasutak építése, a járványok pedig visszaszorultak, ami ugyancsak pozitív hatással volt a demográfia mutatókra. (Ihrig 1973). Az előnyök mellett a tiszai munkálatoknak hátrányai is voltak. Az árterek leszűkítésével a halak élettere jelentősen lecsökkent így az egykori lege halbőség legendává vált. A ármentesített területeken megindult a szikesedés (Somogyi 2000). A töltések közé szorított és megnövekedett esésű folyón a legmagasabb vízszintek 3-4 méterrel emelkedtek a szabályozások után (Vágás 2000). További gondot a okoztak töltések mögött felgyülemlett belvizek is, amelyek elvezetés hiányában sokszor az árvizekhez mérhető károkat okoztak (Ihrig 1973). A Tisza vízrendszerében, és kiváltképp az Alsó-Tiszán a legintenzívebb változások a szabályozásokat követően történtek, amikor az átvágott szakaszok gyors

fejlődésnek indultak. A folyó néhány évtized elteltével a megváltozott esés és vízhozam viszonyokhoz idomult és próbált visszatérni egyensúlyi állapotához. Ezeket a morfológia változásokat a partvédművek megépítése akadályozta, amelyek hatására a meder szűkült és vízszállító képessége romlott (Fiala et al. 2006).

A megépült duzzasztók is jelentősen befolyásolják a Tisza hidro-morfológiai viszonyait (Lászlóffy 1982). Ezeket a duzzasztókat a vízvisszatartás és a hajózás érdekében építették. A tiszalöki duzzasztómű 1959-ben épült a Tiszántúl öntözésének és a Körös-vidék vízpótlásának elősegítésére. A duzzasztómű 7 méterrel emeli meg a vízszintet. A műtárgy környezetében kutatások szerint a talajvízszint 0,5-1 métert emelkedett (Bezdán 2010). A kiskörei vízlépcső 1974-ben készült el, megépítése az öntözés, a hajózás, az energiatermelés és a turizmus fejlesztését segíti. A műtárgy maximum 11 méteres vízoszlopot képes megtartani. Az 1977-ben üzembe helyezett törökbecsei duzzasztó közvetlenül a Duna-Tisza főcsatorna becsatlakozó szelvénye alatt épült meg, és hatása kisvízkor Mindszentig érvényesül (Bezdán 2010). A duzzasztóművek szelvénye feletti mederszakaszon és a tározótérben a lecsökkenő esés miatt az akkumuláció dominál, így változik a morfológiája is. Ez a káros folyamat a duzzasztási szintek emelésével járhat (Bezdán 2010).

3.2 Szűkebb mintaterület jellemzése

A modellt az Alsó-Tisza vidék középső részére készítettem le. A táj felszínét a negyedidőszakban a Duna, a Tisza, a Körös és az Maros együtt alakították ki (Kiss és Hernesz 2011). A modellben az elöntés az alacsony ártérre korlátozódik, ami a késő pleisztocén-holocén bevágódásával jött létre (Hernesz és Kiss 2013). Az alacsony és a magas ártér között 3-5 méteres szintkülönbség van. Az Alsó-Tisza-vidék, ami tulajdonképpen az alacsony ártér területével esik egybe Mindszent környékén a legszűkebb (6-8 km), a legszélesebb része (10-15 km) Szeged környékén található. Az árteret egykori folyómedrek, övzátony-sorok és lecsapoló medrek tarkítják, illetve az alacsonyártéri szintből ártéri szigetek emelkednek ki (Kiss és Hernesz 2013). Mivel az alacsony ártér az ármentesítések előtt vízjárta terület volt ezért a települések az ártérperem futásához igazodva a magas ártéren jöttek létre. A Tisza jobb oldali árterén a magas ártérre épült Csongrád, Csanytelek, Baks Ópusztaszer és Sándorfalva is. Az ártér belső területien elhelyezkedő települések (pl. Dóc, és Szőreg) a szigetként kimagasodó térszíneken jöttek létre.

A terület árvízveszélyességét mutatja, hogy a 2000-es években 5 éven belül kétszer is, 2001-ben és 2006-ban megdőlt az LNV. Az Új-Vásárhelyi Terv részeként az árvízvédelem

fejlesztésének céljából a tervek között szerepel a területen az un. Szegedi-tározó megépítése (Bódis 2010). A területen a gátrendszert 1880-as évek elején építették ki, majd többször magasították (Schweitzer 2003). A modellben a Tiszától nyugatra lévő ármentesített térszín egy részének előntését szimuláltam (2. és 7. ábra). Ki kell emelni, hogy itt a védműrendszer sajátossága, hogy a Tisza fővédvonalára közel merőlegesen másodlagos gátak (lokalizációs töltések) húzódnak K–Ny irányba, egészen a magas ártér pereméig. Így a mentett oldal is öblözetekre van osztva, azaz ha az árvíz valahol átszakítaná a gátat, akkor elvileg ezek a lokalizációs töltések megállíthatnák vagy késleltethetnék az áramló víz útját. Ezeknek a töltéseknek az 1879-es szegedi nagy árvízkor is volt szerepe (ld. 2.2.1 fejezet). Ezért a modellben is felhasználtam őket, ugyanis a modellben előntött öblözetet északon a Dong-éri csatorna töltése, délen a Sövényházi lokalizációs töltés határolja, míg nyugaton a magaspart pereme, keleten pedig maga a Tisza gátja (10. ábra). A vízállások alakulását pedig az Alsó-Tisza főbb vízmércéin vizsgáltam Csongrád és Tiszasziget között.



7. ábra: A mintaterület elhelyezkedése a Tisza vízgyűjtő területén belül

4. Vizsgálati módszerek

4.1 A HEC-RAS és HEC-GeoRAS szoftverek alapjainak elsajátítása

A modellt HEC-RAS programban építettem fel. A modellépítés és tanulás első fázisában HEC-GeoRAS programot használtam, amely az ArcGIS 10.1 programba beépülő eszköztár és megteremti a kapcsolatot HEC-RAS 4.1 és ArcGIS 10.1 között. Egyetemi tanulmányaim során a GIS programokban több tapasztalatot szereztem, mint HEC-RAS-ban, ezért döntöttem úgy, hogy a modell geometria felépítését a HEC-GeoRAS eszköztár segítségével sajátítom el. A geometria felépítéséhez szükség van egy digitális domborzatmodellre, ahonnan a program a magassági értékeket nyeri ki a bedigitalizált rétegek számára. A legfontosabb rétegek a folyógeometria felépítéséhez a folyó középvonala és a keresztmetszvények. További szerkeszthető rétegek még:

- a partok futása,
- az ártér futása,
- hidak helyzete,
- területek melyeken nem vesznek részt az ártér vízzsárlításában ,
- akadályok az ártéren (pl.: épületek),
- területhasználat,
- töltések,
- tároló területek,
- tároló területek közötti kapcsolat,
- zsilipek és gátak, oldalbukók

A rétegek alapját képező, 2*2 méteres domborzat modellt az ATIVIZIG bocsájtotta rendelkezésemre. A domborzat modell nem tartalmazta a gátakat és a folyómeder geometriáját így először ezt a problémát oldottam meg. Mivel az ATIVIZIG felmérte a medret 2000-ben a Csongrád és Algyő közötti szakaszon, ezen mérések adatait text formátumban beolvastam. A fájlban lévő EOVS koordinátákat ponttá alakítottam majd a *Spline with Barriers* eszközzel létrehoztam a meder felületét. A *Mosaic* eszközzel egyesítettem a mederfelületet a domborzatmodellel, úgy hogy a közös területeken a mederfelület magassági értékei kerüljenek a domborzatmodellbe. A gátakat poligonként digitalizáltam és *Clip* eszközzel kivágtam az ATIVIZIG egy másik domborzatmodelljéről mely tartalmazta a gátakat

helyzetét viszont a geometriailag pontatlanabb volt az általam használnál. A *Mosaic* eszközzel a mederhez hasonlóan ezt az adatot is egyesítettem a meglévő DDM-mel. Miután a domborzatmodell tartalmazta a meder és a gátak pontos magassági értékeit is, elkezdtem bedigitalizálni a szükséges rétegeket.

Elsőként a folyó partvonalát digitalizáltam, a 2000-ben készült mederfelmérés part élei alapján.

A digitalizálásra az alábbi szempontok vonatkoztak:

- a partvonalaknak nem kell folytonosnak lenniük;
- a partvonalak felvételének iránya nincs megszabva;
- általános esetben minden folyónak kell legyen jobb és bal partvonala valamint minden keresztszelvényhez kell kapcsolódnia egy jobb és bal partnak.

Ezt követően a középvonalat rajzoltam meg ami meghatározza a folyó áramlási útvonalát, valamint ezen vonal alapján történik a folyamkilométerek kiszámolása is. A digitalizálás során az alábbi szempontokat követtem:

- a folyó középvonalát folyásiránnyal megegyezően, a felső szakasztól az alsó szakaszig kell felvenni, így az utolsó letett pont a „0”;
- minden folyószakasznak egyedi neve kell legyen;
- a folyószakaszoknak kapcsolódniauk kell, az egyik folyószakasz végpontja, a másik folyószakasz kezdőpontja;
- a folyószakaszok nem metszhetik egymást, kivéve a torkolatnál.

A *Topology* eszközzel ellenőrizhető, hogy geometriailag helyes-e a folyóhálózat. A *Length and Stations* eszközzel kiszámolható a folyó hossza és az áramlási irány, illetve a keresztszelvények azonosításához megadhatjuk a folyamkilométereket. Az *Elevations* menüpontban lehetőség van a 2D folyórétet 3D-be alakítani, de ezt a 3D réteget a HEC-RAS nem tudja kezelni

A következő lépésként az ártár határát húztam be, amelyet ebben az esetben a magas és alacsonyártér határához igazítottam. A szerkesztés során az alábbi szabályok voltak az útmutatóak:

- a futásvonalakat folyásirányban kell felvenni;
- a futásvonalakat minden folyón megszakítások nélkül kell felvenni;
- minden futásvonalnak legalább egyszer metszenie kell egy keresztszelvényt;
- a futásvonalak nem metszhetik egymást.

Ehhez a réteghez a folyókhoz tartozó egy bal és egy jobb oldali futásvonalat valamint a folyó középvonalát is fel kell venni. A folyó középvonalát át lehet másolni a már elkészített folyó középvonal rétegből.

A következő lépésben a keresztaszelvényeket vettem fel. A keresztaszelvények az bal és jobb ártér határa között húzódnak. A keresztaszelvények felvételekor az alábbi szabályokra ügyeltem:

- a keresztaszelvényeket a balról jobbra kell felvenni, és a bal illetve jobb áramlási útvonalakat (*Flow Paths*) valamint a folyó középvonalát metszeniük kell de csak egyszer;
- a keresztaszelvények egymást nem metszhetik;
- a keresztaszelvények felvételekor törekedni kell arra, hogy a sodorvonalra (jelen helyzetben a középvonalra) merőleges legyen.

A *River/Reach name* eszközzel minden keresztaszelvényhez hozzárendeltem, hogy melyik folyószakaszhoz tartozik és ez az attribútum táblában automatikusan rögzítésre került. A *Stationing* eszközzel kiszámoltam, hogy, melyik folyószakasz hányadik folyamkilométeréhez lett felvéve az adott keresztaszelvény. A *Bank Stations* eszközzel a létrehozott part (*Bank*) réteget alapul véve rögzítettem, hogy a keresztaszelvényen belül hol kezdődik a partvonal. Az *Elevations* menüpontban a behúzott keresztaszelvényekhez rendeltem a magassági értékeket a DDM alapján.

A keresztaszelvények felvétele után egy tárolóterületet rajzoltam be, ahová egy gátszakadás esetén a víz távozni tudna. A tárolóterületek

- nem metszhetik egymás;
- teljes terjedelmük a DDM-en belül kell legyen.

Miután berajzoltam a területet, az *Elevation Range* eszközzel kiszámoltam a minimum és a maximum magasságát. A HEC-RAS a tárolót egy térfogat görbe alapján fogja feltölteni. Ehhez a számításhoz a szükséges adatokat az *Elevation Volume Data* eszközzel nyertem ki. Ez az eszköz létrehozott egy táblázatot, amiben a tározó adott magassági értékhez tartozó felület és térfogat került kiszámításra.

A gátszakadás helyét és méretét (*lateral structure*) geometriaként vettem fel. A szoftverben gátak (*Levees*) réteget is fel lehet venni, ebben az esetben viszont a gátakon kívülre nem kerül víz akkor, sem ha a vízszint a gát koronája fölé emelkedik. A gátat folyásiránnyal megegyezően kell felvenni, és nem nyúlhat túl a DDM kiterjedésén. Az előző rétegekhez hasonlóan, itt is hozzáadtam a kapcsolódó folyó nevét (*River/Reach Name*) a folyamkilométert (*Stationing*) és a 3D vonalat (*Elevations*) az attribútumokhoz illetve

réteglistához. A gátszakadás további beállításai HEC-RAS-ben lehetségesek ott adható meg például a gát szakadásának helye mérete és időpontja.

4.2 A modell előállítása

A saját, kisebb léptékű modellemben kitapasztaltam a HEC-RAS és a HEC-GeoRAS szoftver működésének alapjait, amelyben az ATIVIZIG munkatársai, Sági Rajmund és Dr. Benyhe Balázs segítettek. Majd az ATIVIZIG-nél használhattam a 2006-os árvízre kalibrált teljes HEC-RAS Tisza modellt. Ez a modell tartalmazta az összes mellékfolyót, a keresztaszelvényeket, hidakat, az érdességi együttható értékeit és a törökbecsei vízlépcsőt is.

Az első lépésben leszűkítettem a modellt a saját mintaterületemre. Ahhoz, hogy a modell pontosan működjön az általam vizsgált Alsó-Tisza vidéki folyószakaszon a modell határait a mintaterületen kívül vettem fel, így a modell határfeltételt nem befolyásolta a gátszakadás hatása, és a kezdeti számítási hibák kisimulhattak. Mivel a Tisza kis esésű és az 1897-es petresi gátszakadás hatására kb 1 méterrel süllyedt a víz szintje, ezért a modellezett mindszeinti gátszakadáskor feltételeztem, hogy legalább 50 km-re hat a vízszintekre al- és felvízi irányba is. Ezért a modell felső határát Szolnoknál alsó határát pedig Titelnél határoztam meg. Ezen a folyószakaszon torkollik a Tiszába a Hármas-Körös és a Maros is, így ezeket a mellékfolyókat is felhasználtam a modellben. A Maros folyószakasz határa Makónál volt, míg a Hármas-Körös folyószakaszának pereme Gyománál volt.

A következő lépésben az ATIVIZIG által rendelkezésemre bocsájtott 2m*2 m-es felbontású domborzatmodell alapján a HEC-GeoRAS eszközcsoomag segítségével a Dong-éri és a Sövényházi-keresztöltések által határolt területet *Storage Area*-ként definiáltam, így a későbbiekben ez a poligon szolgált a tárolóterületként a modellben. A HEC-RAS szoftver a tározóterület feltöltése során egy térfogatgörbével számol, melynek értékeit HEC-GeoRAS eszközcsoomag *Elevation Range* majd *Elevation-Volume Data* eszközeinek futtatásából nyertem ki. Az *Elevation Range* eszköz meghatározza a területen található legalacsonyabb illetve a legmagasabban fekvő pont tengerszint feletti magasságát. Az *Elevation Volume Data* eszköz kimeneteként egy táblázatot kapunk mely tartalmazza a magassági értékekhez tartozó térfogat értékeket (5. táblázat). Ezután az *Export RAS Data* eszközzel kiexportáltam a tárolóterületet. A következő lépésben a folyóhálózat geometriát tartalmazó fájlba beimportáltam az elkészített tározót az *Import Geometry Data* → *GIS* menüponttal.

Miután a tározó is bekerült a geometriába a gát tulajdonságait kezdtem el szerkeszteni. A gátat *lateral structure*-ként vettem fel. Azért dolgoztam ezzel a típusú töltéssel, mert ebben az

esetben lehetőség van a gát kiszakítására. Miután hozzáadtam a töltést a geometriához (*add lateral structure*) megadtam, hogy melyik folyószakaszon, hányas folyamkilométernél helyezkedjen el, továbbá beállítottam, hogy a jobb parthoz illeszkedjen és szakadáskor átfolyó víz a mentett oldali tározótérbe jusson. A *lateral weir embankment* menüpontban megadtam a gát szélességét és magasságát, valamint a *Weir Stationing Reference* menüpontban a felvízi keresztmetszélvénnytől való távolságot. Erre azért van szükség, mert nem lehet olyan folyamkilométert megadni a gát helyének ahol keresztmetszélvény helyezkedik el.

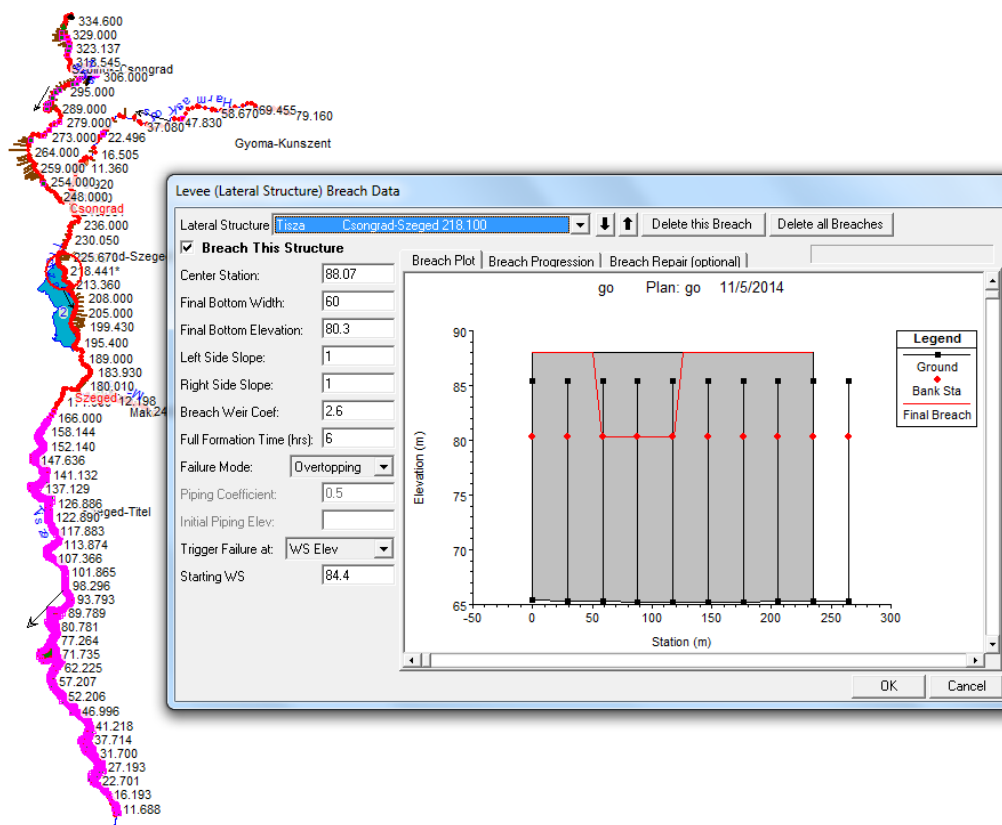
5. táblázat: A térfogati görbe számításához szükséges táblázat

mBf.	Térfogat m ³	Terület (ha)
74.5	0	10890
74.56	522.70	10890
74.64	1317.47	13335
74.72	2227.90	16895
74.83	3814.74	21065
74.96	6242.60	26005
75.11	9773.72	32625
75.30	14956.79	38285
75.52	22415.91	68235
75.78	39571.46	97765
76.10	122167.22	885775
76.48	474995.4688	1484965
76.94	2279174.25	6473645
77.49	8573056	19036124
78.15	30234490	64933576
78.94	86709024	109962880
79.89	182364640	132163272
81.03	307073664	140241056
82.39	460514816	141567792
84.03	646742528	142157424
86	870831232	142212288

A modellezett gátszakadás a Mindszentnél következett be (218 fkm). Az adott pont kiválasztásában terepi tapasztalataink segítették, ugyanis egy helyen a meder a gáthoz nagyon közel (20-25 m) fut, és a partbiztosítás is már megsemmisült, így csuszamlások pusztítják a partot. Ráadásul a mögöttes terület mélyfekvésű, és a Kis-Tisza paleo-medre a tározó feltöltését irányíthatja. A szimulált gátszakadás a gát 60 méteres szélességében teljesen a töltésküszöbig lehatolt (80.3 tszf). A szakadási felület meredeksége 1-1° volt a jobb illetve a

bal oldalon, így a szakadási szelvény enyhén trapéz alakú volt (8.ábra). A töltés együtthatóját a 2-3,2 közötti tartomány között érdemes megadni, az általam is használt alapérték 2,6 ami nagyrészt a földből épült gátak esetén alkalmazható. A töltés 6 óra alatt semmisült meg teljesen, egyenletesen leomolva. A gátszakadás módja meghágás volt, ami az első esetben 84,4 méteres tszf. magasságban történt meg, míg a második futatott modell esetben tetőzésekor, 85,3 méteres tszf. magasságban (8. ábra).

A gátszakadás kivitelezéséhez szükség volt a keresztmetszvények besűrítéséhez a szakadási szelvény körül. Ez a lépés azért fontos mert, a gátszakadás leképezéséhez sűrűbb számítási lépésekre van szükség. A keresztmetszvények „besűrítését” az *XS interpolation* eszközzel végeztem el. A gátszakadás alvízi illetve felvízi szakaszára 30-30 interpolált keresztmetszvényt vettem fel.



8. ábra A gátszakadás beállításai és a modell geometrája

A geometria megadása után a szimulációhoz szükséges hidrológiai peremfeltételeket adtam meg az *Unsteady Flow Simulation* menün belül (9 ábra). Az adatokat ebben az esetben is az ATIVIZIG szolgáltatta órás bontásban, a 2006-os árvízre vonatkozóan. Vízhozam adatsorokat adtam meg a felső peremfeltételként Szolnoknál, és a mellékfolyók esetében Gyománál és

Makónál. Az alsó peremfeltételt Titelnél egy vízállás adatsor jelentette. Ezeken az adatokon kívül szükséges volt a törökbecsei vízlépcső kapunyitási adatainak megadása is..

The screenshot shows the 'Boundary Conditions' dialog box in HEC-RAS. The 'Initial Conditions' tab is selected. The 'Boundary Condition Types' section contains a grid of buttons: Stage Hydrograph, Flow Hydrograph, Stage/Flow Hydr., Rating Curve, Normal Depth, Lateral Inflow Hydr., Uniform Lateral Inflow, Groundwater Interflow, T.S. Gate Openings, Elev Controlled Gates, Navigation Dams, IB Stage/Flow, and a 'Rules' button. Below this is the 'Add Boundary Condition Location' section with buttons: 'Add RS ...', 'Add Storage Area ...', 'Add SA Connection ...', and 'Add Pump Station ...'. At the bottom is a table titled 'Select Location in table then select Boundary Condition Type'.

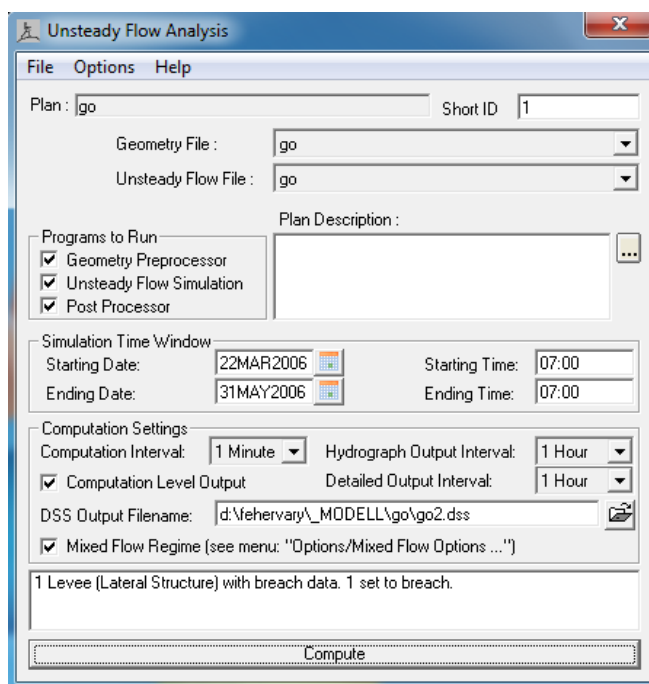
	River	Reach	RS	Boundary Condition
1	Harmas-Koros	Gyoma-Kunszent	79.160	Flow Hydrograph
2	Maros	Mako-Szeged	24.340	Flow Hydrograph
3	Tisza	Szolnok-Csongrad	334.600	Flow Hydrograph
4	Tisza	Szeged-Titel	61.790 IS	T.S. Gate Openings
5	Tisza	Szeged-Titel	9.725	Stage Hydrograph

9.ábra: A peremfeltételek megadása HEC-RAS-ban

A peremfeltételek megadása után az *Initial Conditions* fülön megadtam a vízhozam kezdőértékeket a modell indításához. Ezeket az értékeket úgy állítottam be, hogy megegyezzenek az adatsorok kezdőértékeivel. A peremadatok kezdőértékein kívül az összefolyásoknál kialakuló vízhozam értékeket is beállítottam. Ezek az adatok a befolyó vízhozamok összegéből adódtak. A tároló területnek is meg kell adni egy kezdő értéket. A tapasztalatok alapján érdemes úgy megadni a kezdőértéket, hogy az a legalacsonyabb pontnál 10-20cm-rel nagyobb legyen.

A peremfeltételek megadása után a modell indításához szükséges *Plan Data* állítottam össze. Ebben a menüpontban megadtam, hogy melyik előállított geometria fájlt és a szimulációs fájlt (peremfeltételek+adatsorok) használja a modell a szimuláció közben. A modell futásának kezdeti és befejező dátumát is ebben a menüpontban állítottam be, ezek a dátumok a 2006-os árvíz időszakát fedték le, így ebben az esetben 2006.3.22. 7:00 és 2006 5. 31 7:00 voltak. A számítási beállításoknál a számítási lépést (*Computation Interval*) 1 percesre állítottam. Erre azért volt szükség, hogy a gátszakadás kiszámításához szükséges számítási adat előálljon és a modell ne váljon instabillá a gátszakadás bekövetkezésekor. A *Hydrograph Output Interval* vízhozam és vízállás adatokat rögzíti egy HEC-DSS fájlba a megadott időintervallumokba. Mivel 1 órás mérési adataim voltak ezért itt is 1 órás kimentet választottam. A *Detailed Output Interval* menüpontban lehetőség van beállítani hogy milyen időközönként kerüljenek kiírásra a vízállás profilok és a vízhozam. Ezt az értéket is 1 órás

időlépéssel állítottam be mivel az elemzésekhez szükségem volt minél több adatra. Az időlépések beállítása után megadtam a kimenő fájl nevét, és leellenőriztem, hogy gátszakadás szerepeljen a beállított terv fájlban (10. ábra)



10. ábra: Plan Data beállításai

A modell eredményeit az ATIVIZIG által rendelkezésemre bocsátott 2006-os árvízi mérések alapján validáltam. Az ellenőrzések során Excel táblába összesítettem a mérési és a modell által számolt adatokat. A modell pontossága a vizsgálatokra kiterjedő időszakban $\pm 0,1$ m volt, azonban az utolsó 10 napban az apadó ágban a 2006-os árvíz adatsora a szimulált adatsorok alá emelkedett -1 méteres átlagos hibával.

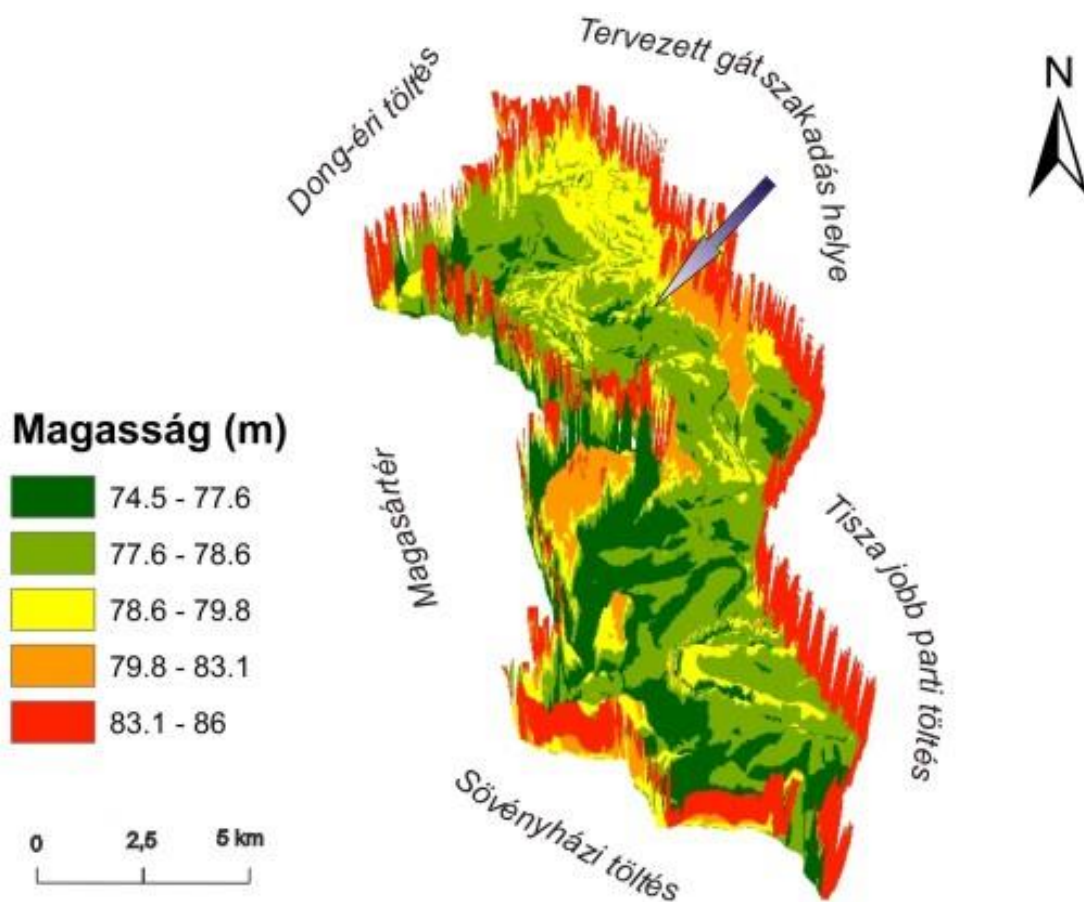
5 Eredmények

5.1 A tározásra szánt terület geomorfológiai jellemzői

A modellezett gátszakadás során kiömlő víz egy mentett oldali tározóba került. A terület határát északról a Dong-éri csatorna töltése délről pedig a Sövényházi lokalizációs töltés jelenti, míg keleten a Tisza jobb parti töltése, nyugaton pedig a magas ártér pereme alkotja (11. ábra). A valóságban ezen a területen belül Mindszenttől 6 km-re délre található még egy alacsonyabb lokalizációs töltés is amely a domborzatmodellben azonban nem szerepel, így ezen töltés megnyitására is szükség lenne a tározóterület általam vázolt kihasználtságához. A terület legmélyebb pontja 74,5 m tszf magasságon, legmagasabb pontja pedig 86 m tfsz

magasságon helyezkedik el. A tározó területen belül több elhagyott folyómeder található, ezek képzik a terület legmélyebb pontjait. Az elhagyott medrek kb. 1,5 -2 méter mélyen ágyazódnak az alacsony ártérbe. A medrek a tározó feltöltésének irányítására is szolgálhatnak, ezekben a medrekben kezdődhetne meg a tározó feltöltése, ugyanakkor a tározó kiürítése után ezekben sokáig pangóvíz alakulna ki. Az alacsony ártéren a legnagyobb kiemelkedéseket az ártéri szigetek jelentik Három sziget emelkedik ki az alacsony ártérből. A mai gáthoz simuló, a gátszakadástól kb. 400 méterre délre lévő sziget területe kb. 2 km², legmagasabb pontja pedig 83 m tszf. magasságon van. Ettől a szigettől délre elterülő kisebb sziget területe kb. 0,8 km² és legmagasabb pontja 82,5 m magasságban fekszik. A harmadik szigeten található Dóc települése. A sziget területe 3,3 km² legmagasabb pontja pedig 86 m.

A tározóterület keleti, északi és déli oldalain futó töltések, koronájának magassága 85 m tszf-on van. A tározóterület nyugati oldalán az ártérperem húzódik, melynek magassága 82 és 84 m között változik. A települések védelméhez, illetve a tározóterület esetleges biztonságos üzemeltetéséhez egységes peremmagasságokra lenne szükség, mely ebben az elméleti esetben 85 méter.

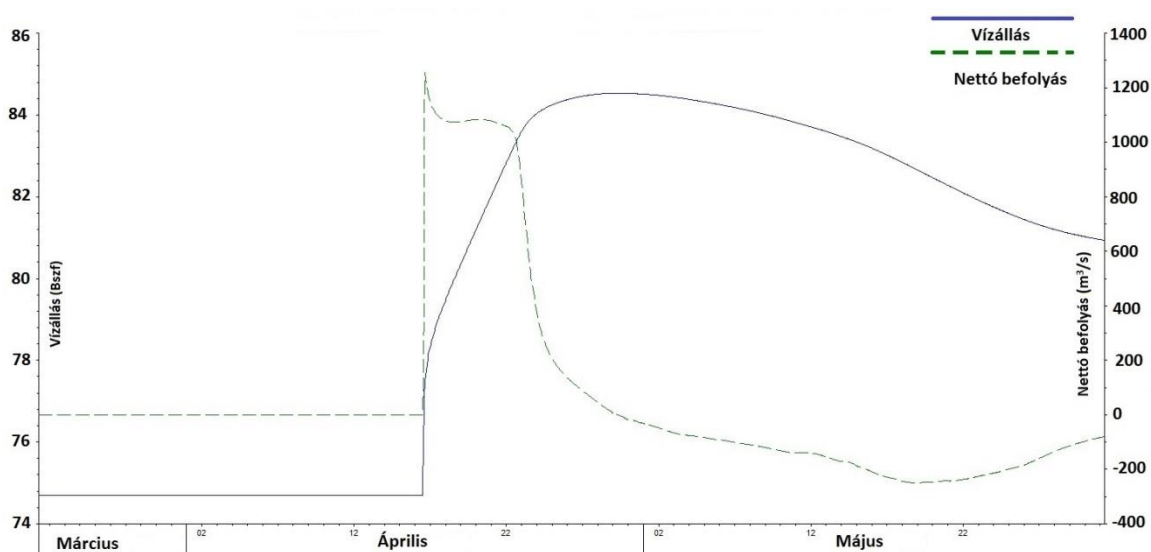


11.ábra: A tározó elhelyezkedése

5.2 Gátszakadás a tetőzés előtt 1 méterrel

A létrehozott első modellben egy olyan gátszakadást szimuláltam, amely a 958 cm-es vízállásnál következne be, tehát a valós tetőzés előtt 1 méterrel. Mivel a gátszakadások oka rendszerint a töltés meghágása (ez történt Petresnél 1879-ben és Tarpánál is 2001-ben), ilyen típusú elöntés nem valószínű. Azonban ha a gát megcsúszik, akkor ez is bekövetkezhet, ezért kíváncsi voltam arra, hogyan változnak a vízszintek, ha a gátszakadás után csak napokkal éri el a területet a tetöző árhullám. Hasonló módon alakulna az árhullám vízállásgörbéje akkor is, ha a gátat tudatosan nyitnák meg, a mögötte lévő területet árvízi vésztározóként üzemeltetve.

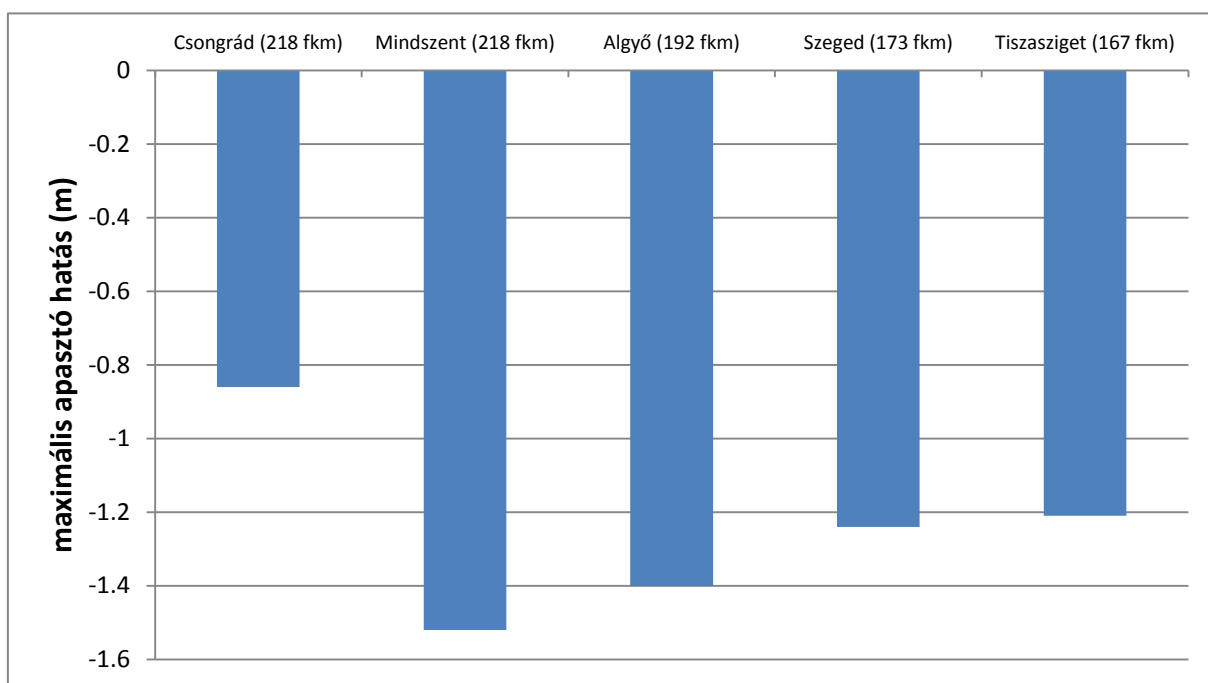
A gátszakadás bekövetkezése után a terület a domborzat és az árhullám jellegzetességei alapján számolt térfogati görbe szerint (12. ábra, 5. táblázat) kezd feltöltődni a legalacsonyabb pontjától kezdődően. Ez a számítási módszer csak durva közelítéssel szimulálja a feltöltődés dinamikáját a területen, hiszen a valóságban nem feltétlenül a legalacsonyabb pontnál indul meg a feltöltődés. Így a modell elsődleges célja a gátszakadás hatására a folyón bekövetkező hidrológiai változások feltárása volt.



12. ábra: A tározó feltöltődésének vízhozam és vízállás görbéi, ha a gátszakadás a 2006-os hasonló árhullám tetőzése előtt 1m-rel következne be

Számításaim szerint, ha a 2006-os árvíz adatsora alapján, a mindszei keresztelvényben a tetőzéshez közeli (az árvíz csúcsától 1 méterrel alacsonyabb) vízszint (958 cm) során a gát 60 méteres szélességben 6 óra alatt bekövetkező átszakadna, akkor a maximum kifolyó vízhozam $1255 \text{ m}^3/\text{s}$ lehetne (12. ábra). A mentett oldal töltések közötti területe ($113,7 \text{ km}^2$) legfeljebb 84,5 méteres magasságig töltődne fel a kifolyó vízzel. Ekkor a tárolótérbe kb. 700 millió m^3 víz jutna. A legnagyobb víztérfogat a gátszakadástól számított 13. napon raktározódna a mentett oldalon, ezután ugyanis megindulna a visszafolyás a Tisza meder felé (12. ábra).

A mentett oldalra beömlő víz jelentősen megváltoztatja a mederben és a hullámtéren áramló víz hidrológiai paramétereit. A legnagyobb változások a szakadási keresztaszvénnyben (Mindszent 218 fkm) következnek be. Itt következne be a gátszakadás legnagyobb árapasztó hatása, ami a 2006-os modellezett vízszintekhez képest $1,54 \pm 0,1$ m lenne. Folyásirányban haladva a hatás mérséklődne, így a Mindszenttől 50 km-re lévő Tiszaszigeten az apasztás maximum értéke már csak $1,2 \pm 0,1$ m-rel lenne (13. ábra). A kis mértékű csökkenés valószínűleg a folyó alacsony esésével magyarázható. A a szakadási szelvény felvízi szakaszán is árapasztó hatást fejteni ki a gátszakadás, de ennek hatása jóval kisebb, hiszen Mindszenttől 30 km-re lévő Csongrádnál az apasztás maximuma csupán $0,68 \pm 0,1$ m volna. Ennek oka, hogy itt az apasztó hatás mérsékli a mögöttes területről továbbra is érkező, még áradó ágban lévő árhullám.



13. ábra: A tetőzés előtt 1 méterrel bekövetkező gátszakadás hatására történő maximális apadás mértéke az alsó-tisza vízmércéken

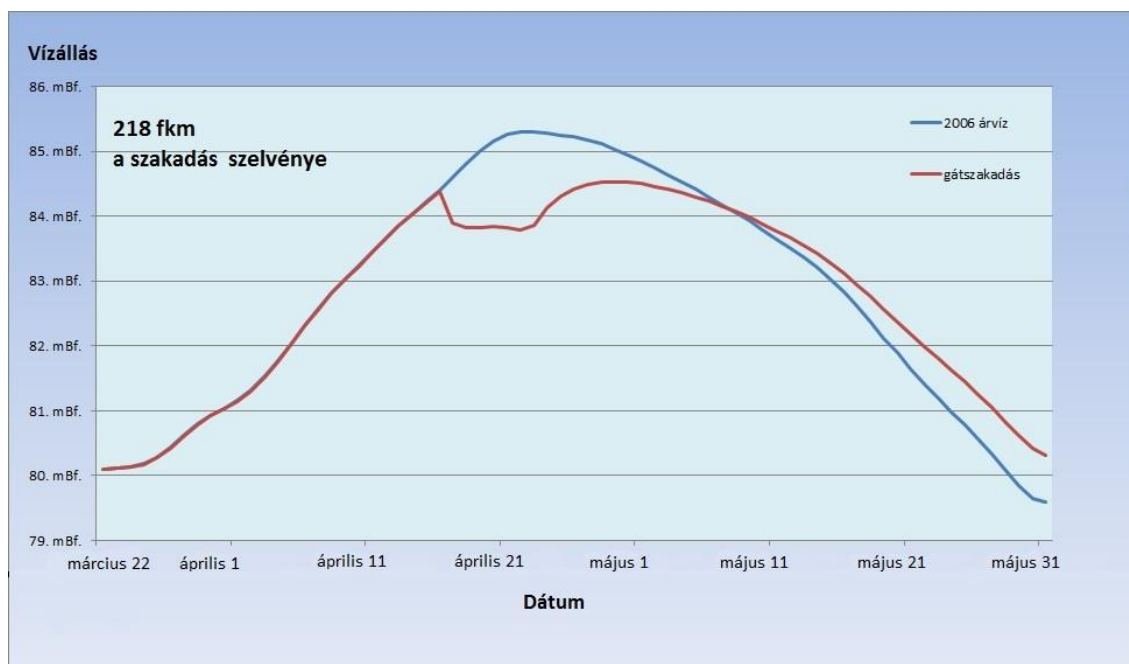
Ha összehasonlítjuk a gátszakadás nélküli vízállásgörbét a gátszakadással befolyásolt vízállásgörbével, akkor megállapítható, hogy mikor a legnagyobb mértékű az apasztó hatás. A szimulált gátszakadás április 16-án történt és legnagyobb apasztó hatást a gátszakadás után 6 nappal érte el. Ekkor azonban a maximális apasztás szinte egy időben jelent meg a vizsgált szakasz középső részén, majd a hatástávolsággal összefüggésben Csongrádon és Tiszaszigeten 1 nappal később jelentkezett (6. táblázat).

6. táblázat: A legnagyobb apadások bekövetkezéseinek időpontjai

Vízmérce	Maximum vízszintváltozás időpontja
Csongrád (246 fkm)	2006.4.23
Mindszent (218 fkm)	2006.4.22
Algyő (192 fkm)	2006.4.22
Szeged (173 fkm)	2006.4.22
Tiszasziget (167 fkm)	2006.4.23

A maximális apasztó hatás időbeli egybeesése a vízmércéken véleményem szerint két okra vezethető vissza. Egyrészt a gátszakadás hatása 6-8 napig volt a kifejezett, amíg a mentett oldalra kifolyó vízhozam $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ felett volt, így a folyó felülről érkező vízutánpótlásnak nagy része elvezetődött. Másrészt a modellezett 2006-os árvíz árhullámának csúcsa kb. 6-8 nap alatt érte el, így az apasztó hatás és az érkező árhullám szinte egybeesett a vizsgált keresztaszelvényekben.

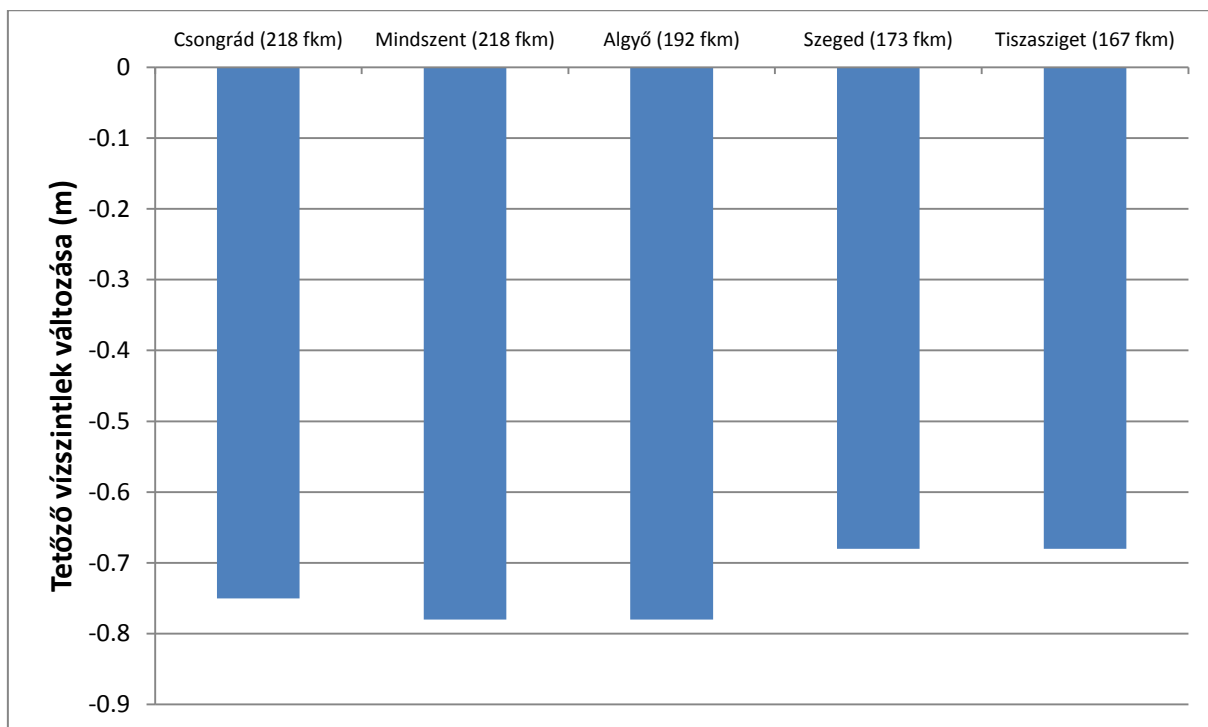
A keresztaszelvények vízszintadatainak alapján készített diagramokon szembetűnő, hogy a gátszakadás hatására bekövetkező apadási maximumok nem esnek egybe a tetőző vízszintek csökkenésének maximumával. Véleményem szerint ez azzal hozható összefüggésbe, hogy a vízszintek csak egy bizonyos vízhozam felett (jelen esetben $1000 \text{ m}^3/\text{s}$), és csak egy bizonyos időtávlatban (jelen adatsorok alapján 6-8 nap) képesek a folyó vízutánpótlás ellenében a vízszintek csökkenő tendenciájának fenntartásában (14.ábra).



14.ábra: A mindszeri gátszakadás hatása a vízállásokra és a gátszakadás nélküli, 2006 –os modellezett árvíz vízállásgörbéje március 22 és május 31 között

A gátszakadással érintett vízállásgörbe azt mutatja, hogy a vízszint a gátszakadás pillanata utáni napon kb 50.cm-t apad, majd 6 nap elteltével újra emelkedni kezd (14.ábra). Ekkor a szimulált események hatására 965 cm-en tetőzött, tehát néhány (7 cm) centiméterrel magasabb annál, mint amilyen vízszintnél átszakadt a gát. A gátszakadással érintett áradás tetőzésének időpontjait (Mindszenten 04. 28) megelőzi a 2006-os gátszakadás nélküli árvíz tetőzésének időpontját (Mindszentnél 4. 22). Véleményem szerint ez azzal magyarázható, hogy csak egy bizonyos kifolyó vízhozam felett (jelen esetben $1000 \text{ m}^3/\text{s}$) és csak egy bizonyos ideig jelen esetben (6-8 napig) képes a kifolyó víz a felsőbb szakasziól érkező vízutánpótlás ellenében a vízszintek csökkentésére, hiszen ahogy a tározó megtelik, a bejutó víz mennyisége egyre kevesebb lehet.

A két vízállásgörbe tetőző vízállásai és a modellezett 2006-os árhullám tetőző vízállásai közötti különbség Mindszentnél a legnagyobb ($0,78 \pm 0,1 \text{ m}$) míg a távolabbi vízmérce szelvényekben némileg kisebb értékek adódtak (15. ábra). Itt is megfigyelhető, hogy az értékek lassan csökkenek hatástávolság arányában.



15. ábra: A tetőző vízszintek különbsége a gátszakadással érintett és a gátszakadás nélküli vízállásgörbéken a hitelesített vízmérce szelvényekben

A gátszakadás után az árvíz tetőzése csaknem egyidőben jelentkezik a vizsgált vízmércéknél.(7. táblázat). Ez alól egyedül a mindszeinti vízmérce volt kivétel, itt egy nappal

később következett be a tetőzés. Ennek oka valószínűleg az, hogy, itt érvényesült leghosszabb ideig a gátszakadás árapasztó hatása így a tetőzés is később következett be.

7. táblázat: Az apasztott árhullám tetőzések időpontjának bekövetkezése a vizsgált keresztmetszelvényekben

Vízmérce	Tetőzés időpontja
Csongrád (246 fkm)	4.27
Mindszent (218 fkm)	4.28
Algyő (192 fkm)	4.27
Szeged (173 fkm)	4.27
Tiszasziget (167 fkm)	4.27

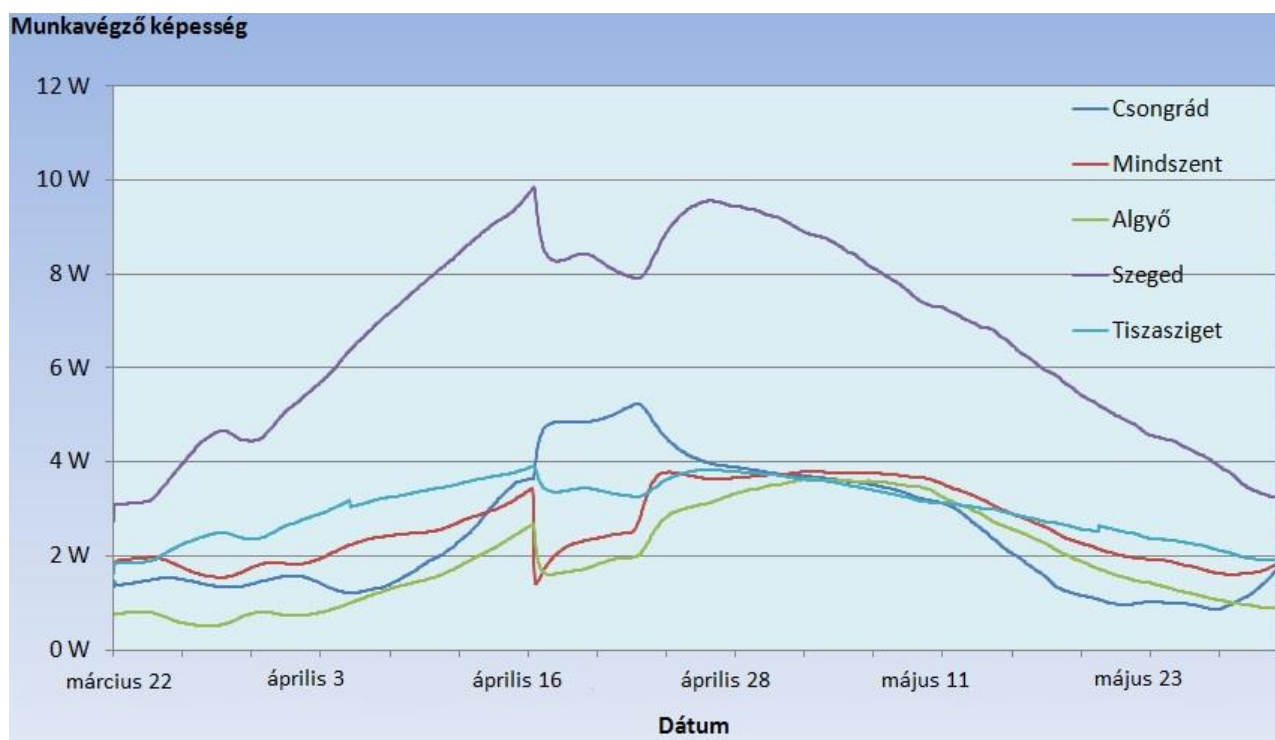
A tetőzés után megindul az apadás a folyón. Az apadás megkezdődésével egyidőben (04.29) a mentett oldali tározóban beáll a maximum vízszint – 84,5 m tszf magasságon. Ezután megkezdődik a víz visszaáramlása a folyóba. A visszaáramlás hatására az apadás lassabb ütemben zajlik, mint a 2006-os (gátszakadás nélkül) árhullám esetében (14. ábra), majd a szimulált vízállások meg is haladják a 2006-os árvíz apadó ágának vízállásait. Először Mindszentnél (a gátszakadási keresztmetszvényben) emelkedik a gátszakadással modellezett apadó víz szintje a 2006-os árvíz vízállásai fölé, majd a többi vízmércénél is bekövetkezik ez a jelenség (8. táblázat) Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy itt érződik legintenzívebben a meder felé a visszafolyás, így a vízszintek is gyorsabban emelkednek. Ez a hatás is a hatástávolsággal arányosan csökken, míg a felvízi szakaszon a visszaduzzasztás addig az alvízi szakaszon a többlet vízhozam hatására. A visszafolyás miatt a gátszakadási keresztmetszvényben a Tisza vízszintje maximálisan 0,79 méterrel emelkedett. A szimuláció utolsó napjaiban a modell ez eddigieknél ($\pm 0,1$ m) magasabb hibával számolt (± 1 m), így csak a jelenség meglétét igazolhatjuk, de a vízszintemelkedés pontos mértéke és a tározó kiürülésének folyamata a lefutott időintervallumon belül pontosan nem határozható meg.

8. táblázat: A tározóból történő visszaáramlás miatt az apadó ágban adott naptól kezdve magasabbá válik a vízállás, mint a 2006-os árvízkor

Vízmérce	Időpont
Csongrád (246 fkm)	2006.5.10
Mindszent (218 fkm)	2006.5.8
Algyő (192 fkm)	2006.5.9
Szeged (173 fkm)	2006.5.9
Tiszasziget (167 fkm)	2006.5.9

A gátszakadás hatására az esésviszonyok is jelentősen megváltozhattak a folyón. A szimulált gátszakadás estében a felvízi szakaszon Csongrád (246 fkm) és Mindszent (218 fkm) között az átlagos esés 4 cm/km-ről 6,5 cm/km-re emelkedett akkor, amikor az árapasztó hatás a legnagyobb volt. Az alvízi szakaszon a gátszakadás bekövetkezésekor az esés 3,5 cm/km-ről 1,9 cm/km-re esett vissza. Az esés változásainak mértéke is hatástávolsággal arányosan csökken.

A gátszakadás a folyó munkavégző képességét is befolyásolta, ami főként az esés és a vízhozam függvénye (Knighton 1998). A szimulált gátszakadáskor a folyó munkavégző képessége a felvízi szakaszon 4 W/m-ről 5,5 W/m-re nőtt, míg az alvízi szakaszon mindenhol csökkent. A legnagyobb csökkenés Mindszentnél következett be, 3,5 W/m-ről 1,5 W/m-re. Szeged kiugró munkavégző képesség értékét valószínűleg a Maros által megnövelt esés okozza, de ott is megfigyelhető a gátszakadás hatására a munkavégző képesség csökkenése 9.6 W/m-ről 7,9 W-re (16.ábra).

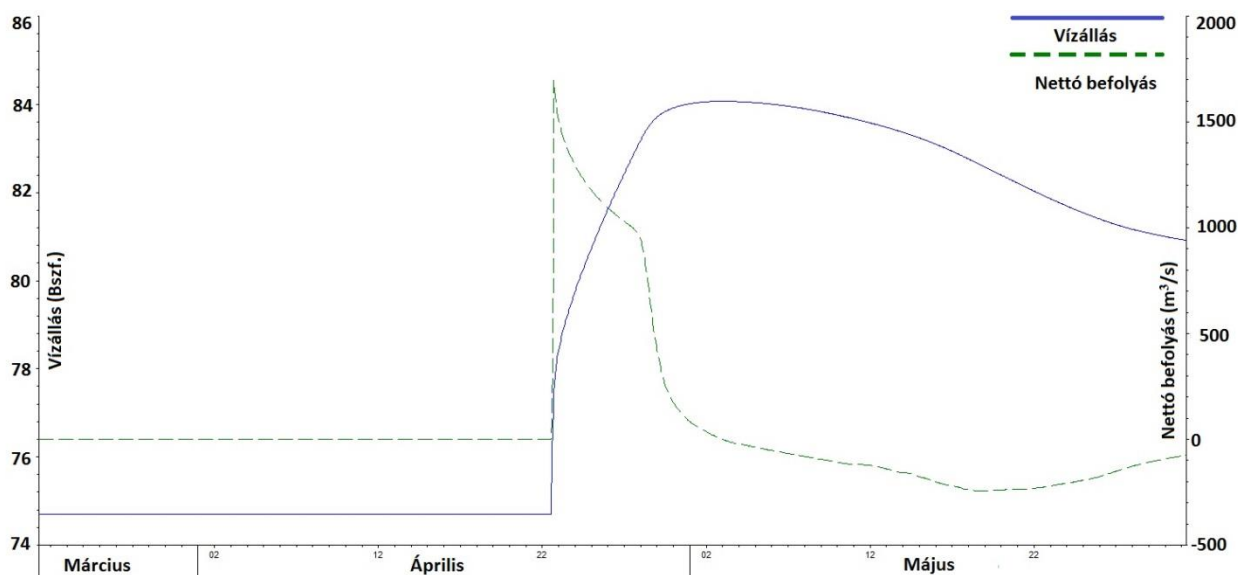


16.ábra: A Tisza munkavégző képességének(W/m) változása a gátszakadás hatására

5.3 Gátszakadás bekövetkezése tetőzéskor

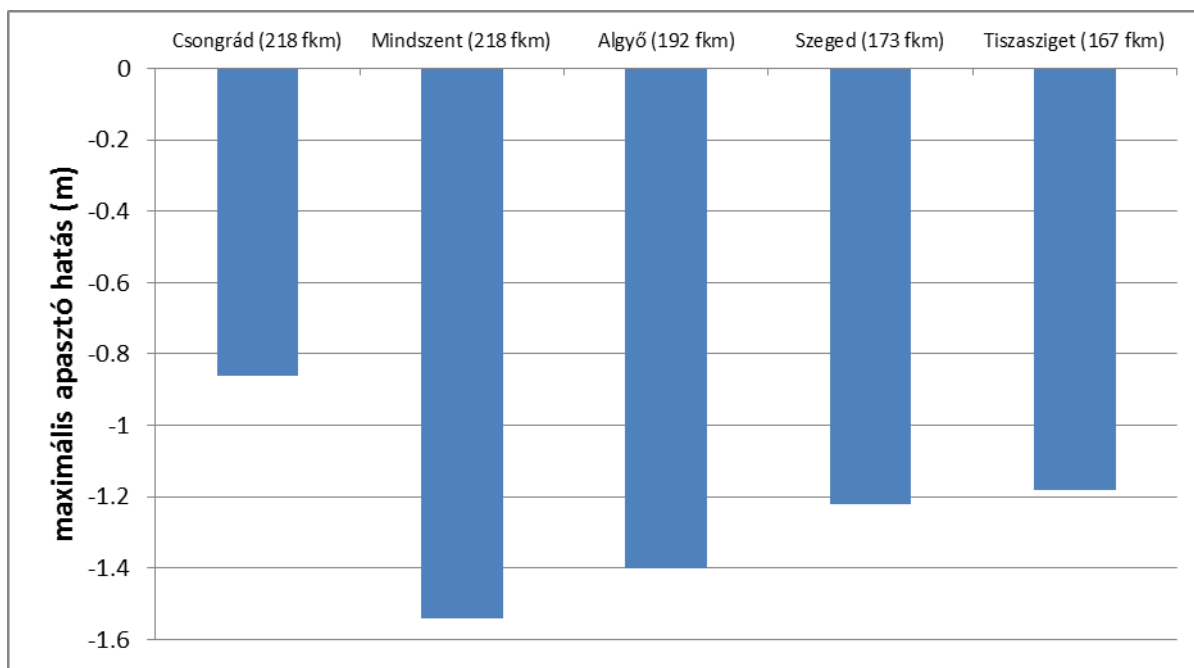
Egy gátszakadás bekövetkezésének legnagyobb esélye a tetőzéskor áll fenn, ezért azt az esetet is szimuláltam a modellben, amikor a tetőzésnél ($10,5 \pm 0,1$ m) szakad ki a gát.

A gát 60 méteres szakaszának teljes megsemmisülésekor a mentett oldalra befolyó vízhozam maximuma ekkor jóval nagyobb ($1698 \text{ m}^3/\text{s}$) lenne, mint ha a tetőzés előtt 1 méterrel alacsonyabb vízszintnél szakadna ki a gát ($1255 \text{ m}^3/\text{s}$). A tározó területe kb. 11 napon keresztül töltődne fel, egészen 84 méteres szintig. Ekkor a tárolóterületben kb. 650 millió m^3 víz raktározódna el. Összehasonlítva ezeket az értékeket az 5.2 fejezetben leírt értékekkel azt arra a következtetésre jutottam, hogy a tetőzéskor átszakadó gát estében (1) a tározóterületre befolyó víz maximum vízhozama a magasabb vízoszlopnak köszönhetően 35%-kal nőtt; (2) feltöltődés 2 nappal gyorsabb; (3) viszont a hirtelen apadás és az utánpótlás hiánya miatt 0,5 méterrel alacsonyabb; (4) és így a tározott vízmennyiség is 50 millió m^3 -rel kevesebb. A tározóba befolyó vízhozam görbékből látható (17. ábra), hogy a tetőzéskor bekövetkezett gátszakadásnál a vízhozamok meredekebben csökkennek, hiszen a folyó felől vízutánpótlás is mérsékeltebb.



17. ábra: A tározó feltöltődésének vízhozam és vízállás görbéi, ha a gátszakadás a 2006-os hasonló árhullám tetőzésekor következne be

A gátszakadás árapasztó hatásának maximumai értékeiben (18. ábra) a tetőzés előtti gátszakadáshoz viszonyítva nem történtek jelentős változások (1%). Ennek valószínűleg az lehet az oka, hogy a hasonló méretű árapasztás létrejöttéhez szükséges vízmennyiség nagy része ebben az esetben is távozni tud a mentett oldalra



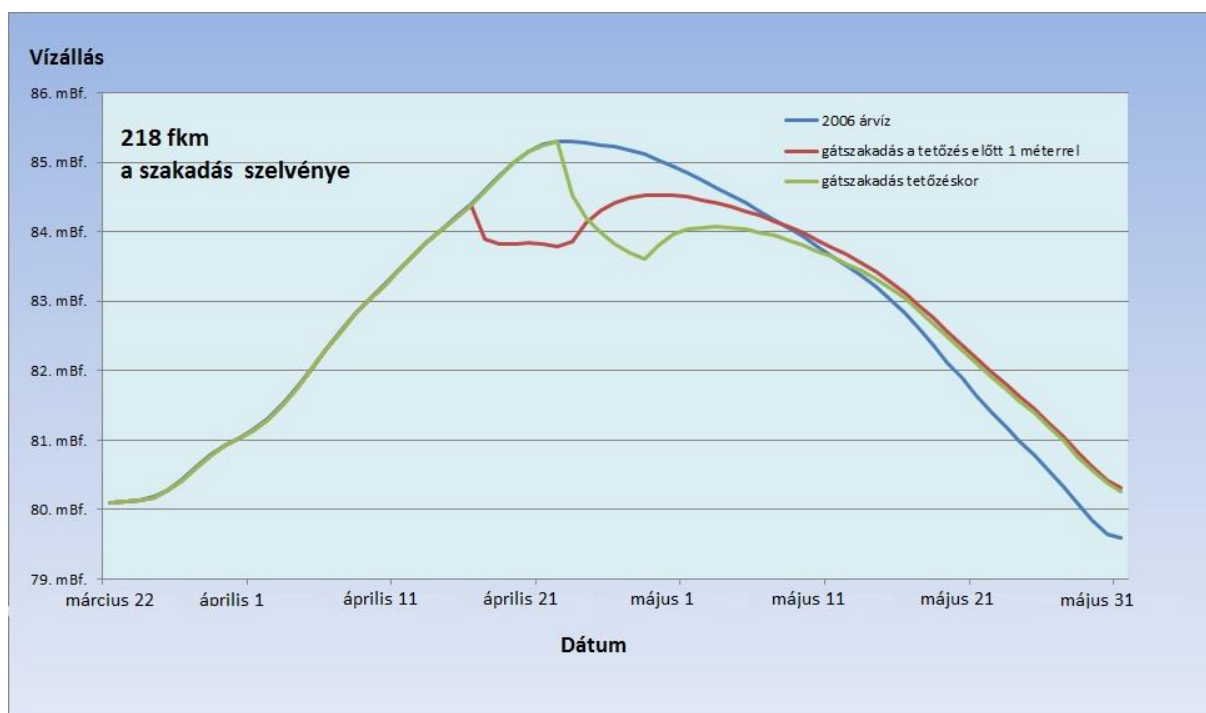
18. ábra: A tetőzéskor bekövetkező gátszakadás hatására történő maximális apadás mértéke az alsó-tiszai vízmércéken

Ebben a szimulált esetben a legnagyobb mértékű árapasztó hatás a gátszakadás (04.22) után 5-6 nappal jelentkezett (9.táblázat). Ugyanakkor, ha a tetőzés előtt 1 méterrel szakad át a gát, akkor ott ez kicsit tovább 6-7 napra kitolódott. A rövidebb árapasztó hatás a magasabb vízszinttel és a nagyobb vízhozammal hozható összefüggésbe.

9.táblázat: A legnagyobb mértékű apasztás időpontja a tetőzéskor bekövetkező gátszakadás esetén

Vízmérce	Időpont
Csongrád (246 fkm)	2006.4.28
Mindszent (218 fkm)	2006.4.27
Algyő (192 fkm)	2006.4.28
Szeged 173 fkm)	2006.4.28
Tiszasziget (167 fkm)	2006.4.28

Mivel a gátszakadás a tetőzéskor történt, ezért ebben a szimulációs esetben a vízállásgörbén a hirtelen apadás után fellépő újabb vízszintemelkedés már jóval alacsonyabb szintet ér el (19. ábra).



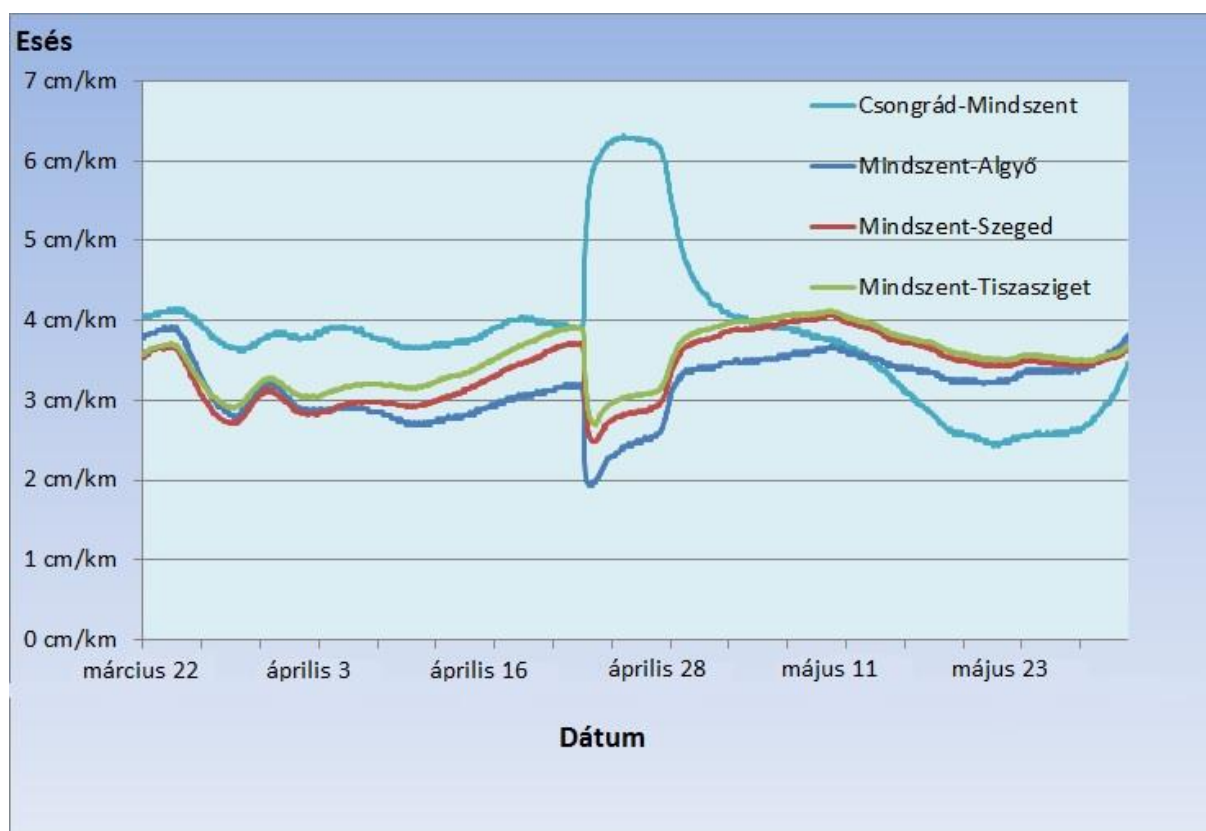
19.ábra: A Mindszenti tetőzéskor bekövetkező gátszakadás hatása a vízállásokra, a tetőzés előtt 1 méterrel bekövetkező gátszakadás és a gátszakadás nélküli 2006-os árvíz vízállásgörbéje

A tetőzés utáni apadással egy időben (05.02) a tározóba jutott víz is elkezd visszafolyni a Tiszába. A mederbe visszaáramló víztömeg hatására ebben az esetben is az apadás a folyón lassabb ütemű, mint a 2006-os gátszakadás nélküli árvíz apadása, így, adott naptól kezdve (10. táblázat) a gátszakadás vízállásai magasabbak (max. 0,74 m), mint a 2006-os árvíz ugyanazon napi vízszintje.

8. táblázat: A tározóból történő visszaáramlás miatt a Tiszán az apadó ágban adott naptól kezdve magasabbá válik a vízállás, mint a 2006-os árvízkor

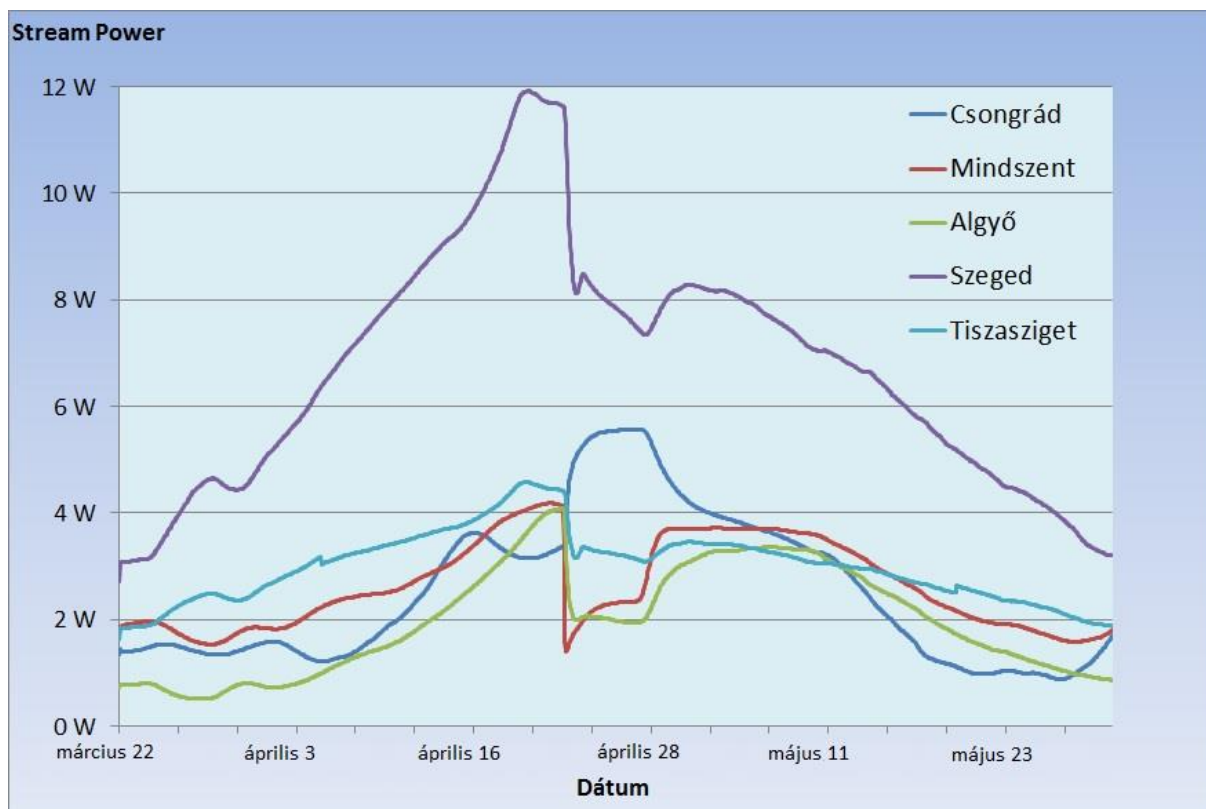
Vízmérce	Időpont
Csongrád (246 fkm)	2006.5.14
Mindszent (218 fkm)	2006.5.12
Algyő (192 fkm)	2006.5.12
Szeged (173 fkm)	2006.5.13
Tiszasziget (167 fkm)	2006.5.13

Az esésviszonyok változásának elemzése során arra az eredményre jutottam, hogy az esésviszonyok nem különböztek számottevően attól, mint amikor a gátszakadás a tetőzés előtt 1 méterrel következett be (20. ábra). A felvízi szakaszon (Csongrád–Mindszent) az esés ugyan nőtt 6,3cm/km-re de ez kis mértékben elmaradt a korábbi szimulációban tapasztalttól. Az alvízi szakaszon pedig az esés csökkenése (1,9 cm/km) ugyanolyan mértékű volt Mindszent–Algyő között. Ez a hasonlóság azzal magyarázható, hogy a gátszakadás árapasztó hatása a két esetben csaknem ugyanolyan mértékű volt.



20.ábra: Az esés (cm/km) alakulása tetőzéskor bekövetkező gátszakadás esetén

A munkavégző képesség értékeit vizsgálva megállapítható, hogy a tetőzéskor bekövetkező gátszakadás esetén az munkavégző képesség értékek magasabbak, a magasabb vízszint és vízhozam értékek miatt (21. ábra). A két gátszakadások bekövetkező trendek azonban mindkét esetben azonosak. A felvízi szakaszon ugrásszerűen nő a folyó munkavégző képessége (3,3 W/m-ről 5,5 W/m-re), míg Mindszentnél (4,1 W/m-ről 1,4 W/m-re) az alvízi szakaszon jelentősen csökken. A szegedi szelvényben itt is megfigyelhetők a kiugró értékek a Maros vízhozama és nagyobb esés miatt, továbbá a hatástávolsággal itt is csökkennek az esés változásának értékei.



21. ábra: A stream power értékei a tetőzéskor bekövetkező gátszakadásnál

6. Összegzés

Kutatásom célja annak vizsgálta volt, hogy milyen hidrológiai következményei lennének, ha Mindszentnél átszakadna a jobb oldali árvízvédelmi töltés és elöntene a Dong-ér és Sövényháza közötti alacsony ártéri öblözetet. Kérdésként merült fel, hogy hogyan hatna ez a gátszakadás a Tisza vízszintjére, esésére és munkavégző képességére. A szimulációhoz HEC-RAS modellt alkalmaztam, és a 2006-os árvíz adatsora alapján futtattam le a március 22 és május 31 közötti időszakra. A mentett oldali öblözet elöntése során a modellben egységes, valós töltésmagasságokkal számoltam. A modellt a tetőzés előtt (958 ± 10 cm) és a tetőzéskor (1050 ± 10 cm) bekövetkező gátszakadás esetében is lefuttattam, és a két szimuláció eredményeit összehasonlítottam.

Számításaim szerint, ha a mindszenti keresztmetszvényben az árvíz tetőzése előtt 1 méterrel alacsonyabb vízszintnél átszakadna a gát (vagy mesterségesen megnyitnák) 60 méteres szélességben, akkor a mentett hullámtéri öblözetbe kifolyó víz maximális vízhozama 1255 m³/s lehetne. A lokalizációs töltések közötti terület (113,7 km²) 84,5 méteres magasságig

töltődne fel. Ekkor a tárolóterületben kb. 700 millió m³ víz raktározódna. A legnagyobb víztérfogat a gátszakadástól számított 13. napon töltene ki az öblözetet.

A Tisza hidrológiájában legnagyobb változások a szakadási szelvényben következnek be. Itt a legnagyobb az árapasztó hatás ($1,54 \pm 0,1$ m), míg az alvízi szakaszon a Mindszenttől 50 km-re lévő Tiszaszigeten az apasztás mértéke $1,22 \pm 0,1$ m, azaz csupán $-0,3 \pm 0,1$ m-rel kevesebb. Felvízi irányban a Mindszenttől 30 km-re lévő Csongrádon az apasztó hatás kisebb, de még itt is $0,86 \pm 0,1$ m. Ennek oka, hogy a modellezett árhullám tetőzése még nem következett be, így a folyamatos vízutánpótlás a felvízi szakaszon mérséklete az árapasztó hatást. Az apasztó hatás legintenzívebben a gátszakadás után 6-7 nappal jelentkezett. A gátszakadás hatására a vízállásgörbe csúcsa időben eltolódott, a tetőzés később (Mindszenten 6 nappal) és 78 ± 10 cm-rel alacsonyabb vízszinttel következett be, mint a 2006-os árhullám esetében. A gátszakadás hatására az esésviszonyok is jelentősen megváltoztak a folyón. A felvízi szakaszon Csongrád és Mindszent között az esés 4 cm/km-ről 6,5 cm/km-re emelkedett, míg az alvízi szakaszon az esés 3,5 cm/km-ről 1,9 cm/km-re csökkent. Az esés változásának mértéke a gátszakadás hatástávolságával arányosan csökkent. A gátszakadás a folyó munkavégző képességét is befolyásolta. A gátszakadáskor a folyó munkavégző képessége a felvízi szakaszon Csongrádnál nőtt 4 W/m-ről 5,5 W/m-re nőtt, míg az alvízi szakaszon jelentősen csökken, Mindszentnél 3,5 W/m-ről 1,5 W/m-re. Az esés és a munkavégző képesség változásának hatása lehet a meder alakulására is. A felvízi szakaszon mivel közel 50%-al nőttek ezek az értékek, előre jelezhető az intenzívebb parterózió, a meder bevágódása és a hullámterek gyorsabb feltöltődése. Ugyanakkor az alvízi szakaszon az értékek a felére csökkentek, tehát a mederben lelassulhat a hordalékszállítás és az akkumulációs folyamatok (pl. zátonyképződés) válnak meghatározóvá.

Az 1879-es szegedi és a 2001-es tarpai árvízi katasztrófák azonban arra világítottak rá, hogy egy gátszakadás bekövetkezésének legnagyobb esélye tetőzéskor áll fenn. Ezért szimuláltam azt a lehetőséget is, amikor a tetőzéskor (1050 ± 10 cm) szakad ki a gát. A töltés 60 méteres szakaszának teljes megsemmisülésekor a mentett oldalra befolyó vízhozam maximuma 1698 m³/s lenne, azaz az előző szimulációhoz képest körülbelül harmadával nőne. Az öblözet feltöltődéséhez csupán 11 napra lenne szükség, azonban mivel a folyón is már megindulna az apadás, ezért 84 m tszf szintig töltődne és kevesebb, kb. 650 millió m³ víz raktározódna. Összehasonlítva a tetőzés előtt 1,0 méterrel bekövethető gátszakadás eredményeit a tetőzéskor bekövetkező gátszakadás eredményeivel megállapítható, hogy alapvetően nem módosult az árapasztás mértéke (1%) és az esés (1%). Ugyanakkor a tetőzéskor bekövetkező gátszakadás során a nagyobb kezdeti befolyó vízhozam hatására

gyorsabban, 1 nappal korábban jelentkezett az árapasztás maximuma, és a mentett oldalra befolyó víz is hamarabb elérte a maximum vízállást. A folyó fajlagos munkavégző képessége bár magasabb értéket ért el a második szimulációkor, de hasonló változások mentek végbe, mint a tetőzés előtti gátszakítás során. Mindkét szimuláció azt mutatja, hogy az öblözetből kifolyó víz legfeljebb 74 cm-rel megnöveli az apadó Tisza vízszintjét, de itt a modell hibája megnőtt, így a visszafolyás hatását és dinamikáját részletesen nem vizsgáltam.

Kutatásom eredményei a vízügyi gyakorlatban is felhasználhatóak, hiszen egy esetleges gátszakadás vagy tudatos megnyitás során hasonló hidrológiai folyamatokkal kell számolni. Természetesen minden árvíz egyedi, és a modellem a 2006-os rekord árvízre alapult, de több árvízre lefuttatva megbízható adatokat kaphatunk.

A Szegedi Tározó tervében az itt bemutatottnál 40%-al kisebb terület (67 km²) elöntését tervezik. Annak hatására kb.40 cm-rel csökkennének a tetőzési szintek (Bódis 2010). Ahhoz, hogy megállapítsuk, melyik lehetőség volna vízügyileg hasznosabb, a gazdaságosságukat is ki kellene számítani.

Eredményeimet a gátszakadásokor kiömlő vízhozam esetében Borza (2008) munkájához hasonlítottam. Borza (2008) a 2006-os árvíz adatait alapul véve 60 méteres szakadás szélesség esetén 1300-1400 m³/s átömlő vízhozamot határozott meg a gátszakadás bekövetkezésekor SWAN program segítségével, ez összeegyeztethető az általam kapott értékkel, ami a modell használhatóságát támasztja alá. A különböző szinten bekövetkező gátszakadások Yu (2013) laboratóriumi mintakísérletei a kimutatott eredményt alátámasztják, mely szerint nagyobb vízállás esetén történt gátszakadás során a folyamatok gyorsabban mennek végbe

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. Kiss Tímeának, a konzulensemnek, aki az OTDK pályamunkám megírása alatt végig motivált és hasznos tanácsokkal látott el. Építő kritikáit a az élet más területein és további tanulmányai során is hasznosítani fogom

Továbbá köszönetet szeretnék mondani az ATIVIZIG munkatársainak, Dr. Fiala Károlynak, Dr. Benyhe Baláznak és Sági Rajmundnak, akik szakmai tanácsokkal és adatokkal láttak el a dolgozatom megírás alatt.

Irodalomjegyzék

- Amini (2009): Determination of optimize management in Flood Plain with Physical Modelling. Eighth Conference. of River Engineering. Ahvaz, Iran. 1-20.
- Bezdán M. (2010): A vízszín esések alakulása az Alsó-Tiszán. Hidrológiai Közlöny 2010. 90/5. 29-36.
- Bódis K. (2010): Digitális Domborzatmodellek és alkalmazási lehetőségek az árvízi kockázatelemzésben. JATEPress, Szeged. 172.
- Bodnár G, Konecsny K, Illés L, Kerti A, Pesel A. (2004): A 2001 márciusi Felső-Tiszai Árvíz. FETIKÖVIZIG. Nyíregyháza. 59.
- Borza T. (2008): A Sövényházi ártéri öblözet lokalizációs tervének felújítása 2D árvízi elöntés modellezés segítségével. BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék 67.
- Dégen I. (1969): Vízgazdálkodás I. Tankönykiadó Vállalat, Budapest. 220.
- Demissie M, Borah DK, Admiraal D (1997): Review of Hydrologic and Hydraulic Studies and Unsteady Flow Routing of the 1993 Flood in the Upper Mississippi River System. Illinois State Water Survey Hydrology Division, Report Number, ISWS CR-622.
- Dunka S, Fejér L, Vágás I. (1996): A veritékes honfoglalás. Vízügyi Múzeum, Levéltár és Könyvtár, Budapest. 215.
- Dyhouse GR. (1985): Levees at St. Louis – More harm than good? In Hydraulics and Hydrology in the Small Computer Age: Proceedings of the Specialty Conference. American Society of Civil Engineers Hydraulics Division, Waldrop. 390-395.
- Fiala K, Sipos Gy, Kiss T. (2006): Szabályozások hatására bekövetkező morfológiai változások a Tisza és a Maros alsó szakaszán., Kiss A., Mezősi G., Sümei Z. (szerk): Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. 203-213.
- Gaál E. (1991): Szeged története 1849-1919. Somogyi Könyvtár. Szeged. 1214.
- Haghizadeh A, Shui L, Mirzaei M, Memarian H. (2012): Incorporation of GIS Based Program into Hydraulic Model for Water Level Modeling on River Basin. Journal of Water Resource and Protection 2012. 4. 25-31.
- Heine R – Pinter N. (2012): Levee effects upon flood levels: an empirical assessment. Hydrological Processes 2012. 36. 3225-3240.
- Heine R, Lant C (2009): Spatial and Temporal Patterns of Stream Channel Incision in the Loess Region of the Missouri River. Annals of the Association of American Geographers. 99. 231.
- Hernesz P. és Kiss T. (2013): A Tisza meder partfalának vizsgálata: Késő-pleisztocén és holocén folyóvízi folyamatok az Alsó-Tiszán. Hidrológiai Közlöny 2009. 93/2. 13-19.
- Ihrig D. (1973): A magyar vízszabályozás története. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest. 400.
- Józsa J. (2001): Felszíni vizek áramlási és transzport folyamatainak numerikus modellezése. Hidrológiai Közlöny 2001. 81/4. 264-266.
- Kamanbedast A, Esfandiar Y. (2011): Investigation and Study of Morphological Changing of Rivers with Using HEC-Geo-RAS and Mike 11 Software. World Applied Sciences Journal. 13/5. 1253-1258.
- Kimitro S, Islam M, (2000): Development of Flood Hazard Maps of Bangladesh using NOAA-AVHRR Images with GIS. Hydrological Sciences Journal 45/ 3. 337-357.
- Kiss T, Hernesz T. (2011): Az Alsó-Tisza-vidék árterének geomorfológiai jellegzetességei és kora. Földrajzi Közlemények 2011. 135/3. 261-274.
- Knighton (1998): Fluvial Forms and Processes. Routledge. New York. 383.

- Kourgialas N, Karatzas P. (2012): A hydro-economic modelling framework for flood damage estimation and the role of riparian vegetation. *Hydrological Processes* 2013. 27. 515-531.
- LaRocque L, Elkholy M, Chaudhry H, Imran J (2013): Experiments on Urban Flooding Caused by a Levee Breach. *Journal of Hydraulic Engineering*. 139/9. 960-973.
- Lászlóffy W. (1982): A Tisza: vízi munkálatok és vízgazdálkodás a tiszai vízrendszerben. Akadémia Kiadó, Budapest. 610.
- Lomulder R. (2004): Appropriate modelling: Application of Sobek 1D2D for dike break and overtopping at the Elbe. Master thesis of Robin Lomulder. University Twente Faculty of Engineering and Management.
- Nagy L. (2008): Hydraulic failure probability of a dike cross section. *Periodica polytechnica. Civil engineering* 2008. 52/2. 283-89.
- Nagy L. (2013): Hány órákor volt a gátszakadás?. *Hidrológiai Közlöny* 2013. 93/3. 76-78.
- Pinter N, Jemberie A, Remo J, Heine R, Ickes B. (2008): Floodtrends and river engineering on the Mississippi River system. *Geophysical Research Letters* 35: L23404.
- Pramanik N, Rabindra K, Bala B. (2010): Simulation of a river stage using artificial neural network and MIKE 11 hydrodynamic model. *Computers and Geosciences* 2010. 36. 735-745.
- Pregun Cs. (2009): Felszíni vízfolyások digitális hidrológiai modellezésének alkalmazása a vízminősítésben. *Hidrológia Közlöny* 2009. 89/1. 9-21.
- Rakonczai J. (2011) in: Rakonczai J.: Az alföld tájválogatásai és a klímaváltozás. *Nagyalföld Alapítvány*. 137-148.
- Remo J, Pinter N, Heine R. (2009): The use of retro and scenarion modelling to assess effects of 100+ years river of engineering and land cover change on Middle and Lower Mississippi River flood stages. *Journal of Hydrology*. 376. 403-416
- Remo J, Pinter N, Ickes BS, Heine RA. 2008. New Databases Reveal 200Years of Change on the Mississippi River System. 2008. 89. No 14.
- Safari (2001): Determination of optimize management in flood plain. *Teheran University*. 50-65.
- Schwitzer F. (2003): in: Teplán I.: A Tisza és vízrendszere. MTA Társadalomkutató Központ. Budapest 265.
- Sepheri et al. (2009): Investigation of flood regime for flood plain and Plan River with GIS Eighth Conference. of River Engineering. Ahvaz, Iran. 41-52.
- Somogyi S. (2000): A XIX századi folyószabályozások és ármentesítések földrajzi és öklógiai hatásai Magyarországon. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet. Budapest. 302.
- Starosolszky Ö. (1996): Gondolatok a hidraulikai modellezésről. *Vízügyi Közlemények* 1996. 78/2. 166-171.
- U. S. Army Corp of Enginners (2010): Users's Manual of HEC-RAS River Analysis system 4.1
- Vágás I. (1982): A Tisza árvizei. *Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet*. Budapest. 283.
- Vágás I. (2000): A Tisza és árvizei. *Hidrológiai Tájékoztató*. 2000. 40/1. 45-50.
- Yalcin G, Akyurek Z. (2004): Analysing Flood Vulnerable Areas with Multicriteria Evaluation. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2004. 35(Part 2). 359-364.
- Yen BC (1995): Hydraulics and Effectiveness of Levees for Flood Control at: U.S. – Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts and Mangement of Extreme Floods
- Yu M. (2013): Investigation of non-cohesive levee breach by overtopping flow. *Yournal of Hydradynamics*. 2013. 25/4. 572-579.

Internetes hivatkozások:

[1] <http://www.mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKE11.aspx>

[2] http://www.dhi.hu/~media/DHIHungary/Files/2012_13_MIKEFLOOD_HU.ashx

Függelék:

1. Bevezetés

Témavezetőm kérdései: Milyen földrajzi/környezeti probléma vezetett a kutatáshoz? Miért aktuális a témaválasztás?

Módszer: aktuális problémák keresése az interneten, 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. Milyen követni való módszereket alkalmaztak? Melyek voltak a módszer előnyei? Mi a vizsgált folyamat következménye?

Módszer: Vonatkozó magyar (20) és angol nyelvű (23) cikkek, könyvrészletek áttekintése, értékelése, a továbbvivő gondolatok kiértékelése

4-5. Eredmények

Témavezetőm kérdései: Hogyan változott a maximális apasztó hatás, a tetőzési szintek az esés, és folyó munkavégző képessége a gátszakadás bekövetkezésekor (1 méterrel tetőzés előtt)?

Hogyan változott a maximális apasztó hatás, a tetőzési szintek az esés, és folyó munkavégző képessége a tetőzéskor történő gátszakadás esetén?

Mi volt a különbség a két szimulációs eset között?

Módszer:

- HEC-RAS és HEC-GeoRAS szoftver megismerése
- ATIVIZIG által rendelkezésemre bocsájtott HEC-RAS modell átalakítása, gátszakadás beépítése
- HEC-GeoRAS szoftverben tározótér kijelölése, beépítése HEC-RAS-ba
- Szimulációk futtatása, adatok kinyerése és elemzése

6. Összegzés

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

Módszer: kritikai elemzés és összehasonlítás

2015. 01.07.