

AZ ÁRVÍZI KOCKÁZATÉRTÉKELÉSI TERVEZÉS SORÁN ELVÉGZETT NYÍLT ÁRTÉRI ELÖNTÉSMODELLEZÉS ÉS KOCKÁZATÉRTÉKELÉS

CSIBRÁN ADRIÁN ZOLTÁN

tervező

VIZITERV Environ Kft.

KIVONAT

Az Árvízi Kockázatkezelési Terv egyik jelentős összetevője volt az árvizek okozta kockázat meghatározása az első rendű fővédvonal által nem védett nyílt ártereken. A folyamatnak részét képezi az elöntési térképek előállítására hidrodinamikai modellekkel, melyeknek alapját a 2014-ben elkészült Nagyvízi Mederkezelési Tervek biztosították. Az elöntés térképek három előfordulási valószínűsége készültek el, ezek alapján állítottuk elő a belterületi érintettség statisztikákat és a kockázatértékelést. A kockázatokat kétféle típusra osztottuk: a vagyoni kockázatok a bekövetkezett kár és a bekövetkezés valószínűségének szorzatként számíthatók, míg a nem vagyoni kockázatok az elöntés alapján lehatárolt érintettség alapján lettek meghatározva. Az eredményeket az ÁKK-ban használt tervezési egység szintjén értelmeztük.

KULCSSZAVAK: árvíz, nyílt ártér, 2D hidrodinamikai modellezés, elöntés, kockázat, mértékadó árvízszint

1. BEVEZETÉS

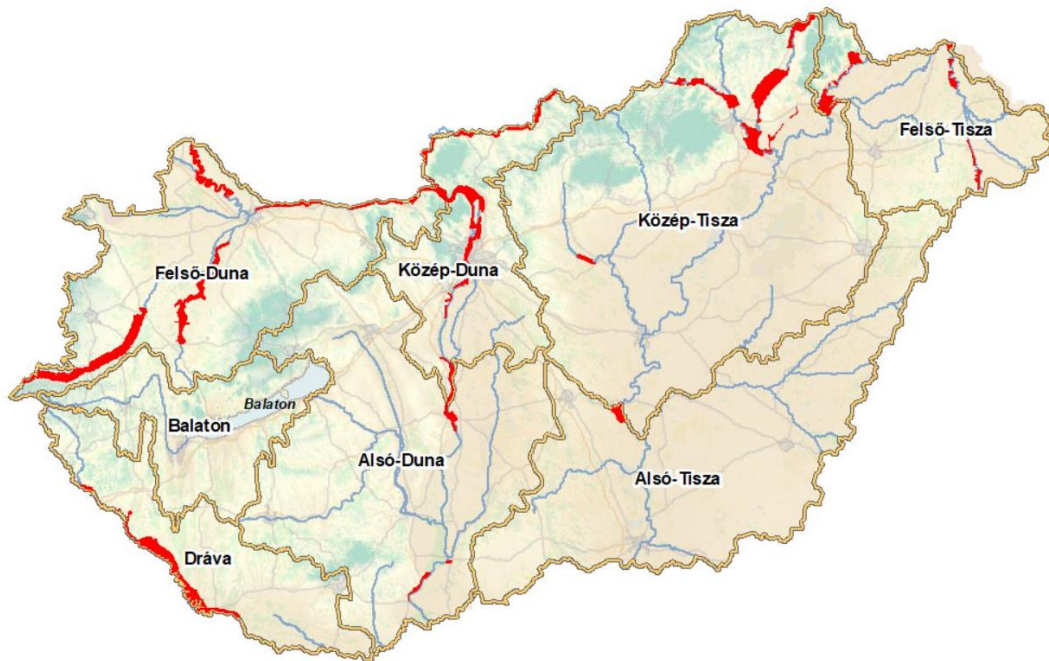
Az Árvízi Kockázatkezelési Terv (ÁKK) egy lényeges részfeladata a jelentősebb hazai folyók nyílt árterés szakaszainak elöntés- és veszély térképezése (Horkai, 2014). Töltésezettlen folyószakaszok kockázatának számításával először az Egyesült Államokban és Angliában foglalkoztak a különböző vízállás valószínűségekre előállításával (Nagy, 2005). Jelen munkálatokhoz a kiindulási alapot a Nagyvízi Mederkezelési Tervek (NMT) jelentették, amelyek 2014 decemberéig készültek el a 2013. évi Duna árvíz tapasztalatainak hatására (Kerék, 2020) és a töltések között, illetve a nyílt ártereken hivatottak leírni az elöntési eseményeket. Országosan 68 NMT szakasz található, amelyekből 32 tartalmaz nyílt árterés területeket (*1. ábra*), ami körülbelül 3150 km folyószakaszt érint. Az elöntés eredmények három előfordulási valószínűsége készültek el: a 3%-os (33 éves), az 1%-os (100 éves) és az 0,1%-os (1000 éves) valószínűségekre, amelyek alapján a kockázati térképek létrejöttek. Az elemzések az ÁKK-ban egységesen használt nyolc tervezési egységre lettek kidolgozva.

Egy-egy NMT terület több nyílt árterés szakaszt is tartalmaz, valamint néhány esetben több NMT együtt kezelése volt célszerű, ugyanis hidrodinamikailag összefüggő rendszert alkotnak. A lehatárolásokat térinformatikai eszközökkel, az Árvízi Kockázati Információs Rendszer (ÁKIR) adatbázisra építve készítettük el, így biztosítva a rendszer homogenitását.

2. MÓDSZERTAN

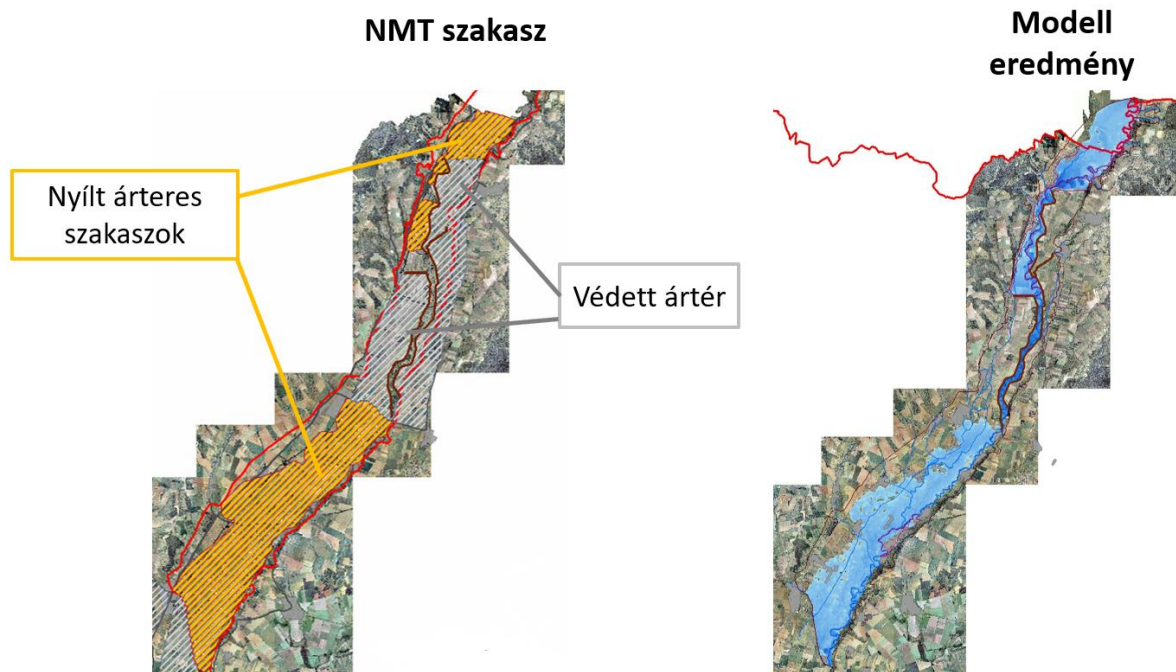
2.1 Nyílt árterés szakaszok határának meghatározása

A nyílt árterés szakaszok meghatározása során két fő szempont szerint kerültek lehatárolásra a területek: első a kimerült magasparti szakaszok, amelyek az elsőrendű védvonalak mentén helyezkednek el, de a mértékadó árvízszinthez (MÁSZ) közeli vízszintek már elöntést okoznak. Ilyen területek - ha síkvidéken vannak - akkor potenciálisan nagy elöntést is okozhatnak. Második a nyílt ártérrel érintett települések, azaz olyan szakaszok, ahol önkormányzati védvonal található.



1. ábra. A nyílt árteres szakasszal rendelkező NMT-k országos elhelyezkedése (pirossal jelölve az érintett területek) és az ÁKK-ban használt tervezési egységek

A Hernád folyó egy szakaszára mutat példát a 2. ábra, ahol elkülöníthető a narancssárgával jelölt nyílt árteres lehatárolás és a szürkével jelölt, védvonalal védett terület. A térség hidraulikailag összefüggő, így nem szétbontható kis öblözetekre, mivel a peremfeltételeket nem lehet úgy megadni, hogy a megfelelő, valós elöntést kapjuk eredményül.




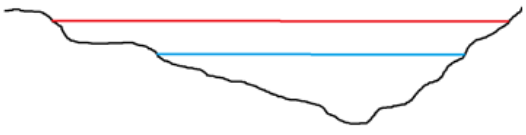
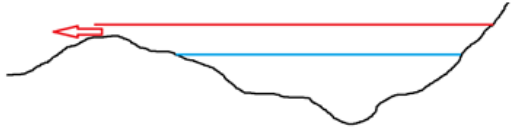
2. ábra. A Hernád folyó egy vizsgált szakasza (bal) és a hozzá kapcsolódó modell eredmény (jobb). Sárga sraffozott terület jelöli a nyílt árteres részeket, szürke sraffozott terület a védett ártereket.

A lehatároláskor azzal a feltételezéssel élünk, hogy az elsőrendű fővédvonalakon védekezéssel bármilyen vízszint megtartható, így a védett ártereken egyik esetben sem számoltunk elöntéssel.

2.2 Elöntési eredmények előállítása

Az elöntési térképek készítéséhez két módszert alkalmaztunk, az érintett szakasz nagyságától, elhelyezkedésétől és a rendelkezésre álló modelltől függően. Ahol megfelelő pontosságú, jó eredmény érhető el, ott kivetítéses módszerrel határoztuk meg a vízmélységeket, a többi esetben kétdimenziós hidrodinamikai modelleket használtunk.

A 3. ábra jól mutatja, hogy a kivetítéses módszer jellemzően olyan szakaszokon használható, ahol a nyílt ártér völgszerű kialakítású. Ahol a magasparti szakasz mögött egy alacsonyabb terület található, azaz a magasparti szakasz mögött átbukik a víz, ott a kivetítési módszer nem alkalmazható, tehát hidrodinamikai modellezés szükséges.

Nyílt ártér „típusa”	Árhullám kivetítés	2D modellezés
Nyílt ártér /"völgszerű"/ 	Alkalmazható, használatát javasoljuk	Alkalmazható, használata nem szükséges
Kimerült magaspart (Magasparti nyomvonal áthelyeződése, a MÁSZ felülvizsgálat miatt) 	Alkalmazható, használatát javasoljuk	Alkalmazható, használata nem szükséges
Kimerült magaspart (átbukás mélyebb fekvésű területek felé, védett ártéri öblözet veszélyeztetése) 	Nem alkalmazható	Alkalmazható, használatát javasoljuk

3. ábra: Nyílt ártér típusok és az alkalmazható elöntésérképezési módszerek

A kiindulási alapot jelentő NMT modellek a Vízügyi Igazgatóságoknál állnak rendelkezésre. Ezek a modellek rendszerint különböző hidrodinamikai szoftverrel készültek. Az új módszertanban minél homogénebb rendszer kialakítása volt a cél, ezért MIKE21FM és HEC-RAS 2D rendszerbe kerültek át a modellek (4. ábra). A 32 nyílt árteres szakaszt is tartalmazó NMT végül 24 modellel lett lehatárolva, ebből 11 esetben HEC-RAS-sal készültek el a modellek, 9 esetben MIKE program segítségével és mindössze 4 esetben volt alkalmazható a pontatlanabb kivetítéses módszert.

Kiindulási modellezési alap
 Vízügyi Igazgatóságokként változó NMT metodika
 (Mike 21, HEC-RAS, CCHE2D, RiverFLO-2D...)

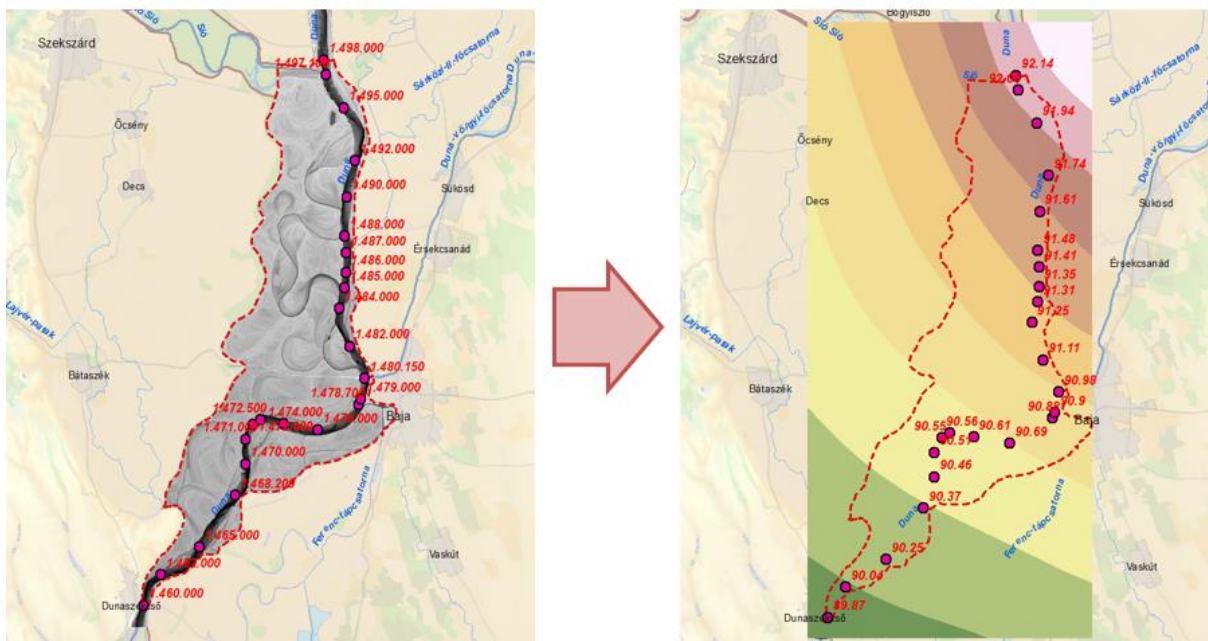


ÁKK
 Országos szinten egységes modellezési metodika
 (HEC-RAS 2D és Mike 21)

4. ábra. Az NMT modellek átültetése az új modellrendszerbe

2.3 Elöntés előállítása kivetítéssel

A kivetítéses módszer során a vízmércékre rendelkezésre álló 3%-os és 0,1%-os vízszinteket, valamint a MÁSZ rendelet alapján rendelkezésre álló 1%-os vízszinteket pontszerűen feltettük a térképekre, majd a pontok között a folyó középvonalának irányát figyelembe véve egy interpolált vízszintfelületet hoztunk létre (5. ábra). Az interpolált vízszintfelület és a terepmagasságfelület különbsége megadta a vízmélységtérképeket.



5. ábra. Kivetítéses módszer folyamata, az 1%-os vízszint pontok (bal) azonosítása majd vízszint felületté interpolálása (jobb)

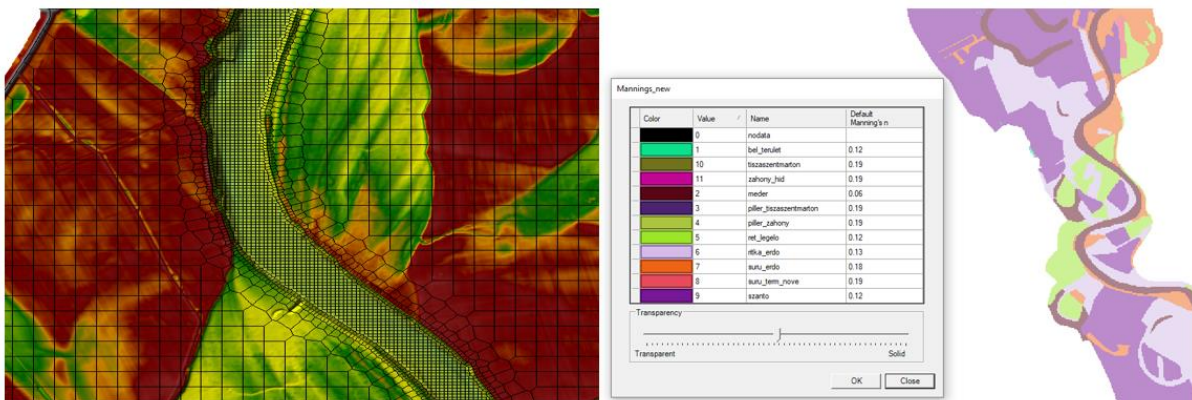
2.4 Elöntés előállítása hidrodinamikai modellezéssel

A hidrodinamikai modellezés során az első lépés a geometria előállítása volt. A rácsháló úgy lett kialakítva, hogy a mederben, illetve annak környezetében sűrű a háló, a medertől távolabbi részeken, illetve a magasabb területeken pedig ritkább. A szükséges terepadatok különböző forrásokból származnak, a hullámtéren jellemzően az ÁKK során végrehajtott LIDAR felmérés eredményei a legjobb adatok. A mederben korábbi felmérések szintvonalas állománya vagy keresztaszvénny adatok lettek beépítve, a terepi vízterelő objektumok szintjei a hozzájuk tartozó tervekben szerepeltek. Néhány nyílt árteres szakaszon a LIDAR mérések kiegészítése

volt szükséges, ott az országos 5 méter felbontású digitális terepmodellt használtuk, melyet az Országos Vízügyi Főigazgatóság bocsájtott rendelkezésünkre.

A nyílt ártereknél általános elvárás a pontosan kalibrált modellek használata, mivel a Nagyvízi Mederkezelési Tervezés során egyértelműen kiderült, hogy kizárólag a modell simasági értékeinek a változtatásával akár 2 méteres vízszint változást lehet ugyanahhoz a hozamhoz előállítani (Bálint, 2022). A kalibrálandó paraméter a Manning-féle simasági tényező volt az egyes területhasználatokhoz, amelyeket ortofotó alapján válogattunk le. A modellek egy részénél jól dokumentált árhullámokra készült el a kalibráció, a többi esetben az 1%-os vízszint a mértékadó. A kalibráció pontossága 5-10 cm körül volt az egyes esetekben. A különböző visszatérési idejű futtatások előállításakor permanens állapotot tételeztünk fel, azaz a felső peremfeltételnek konstans vízhozam, míg az alsónak konstans vízszint lett beállítva.

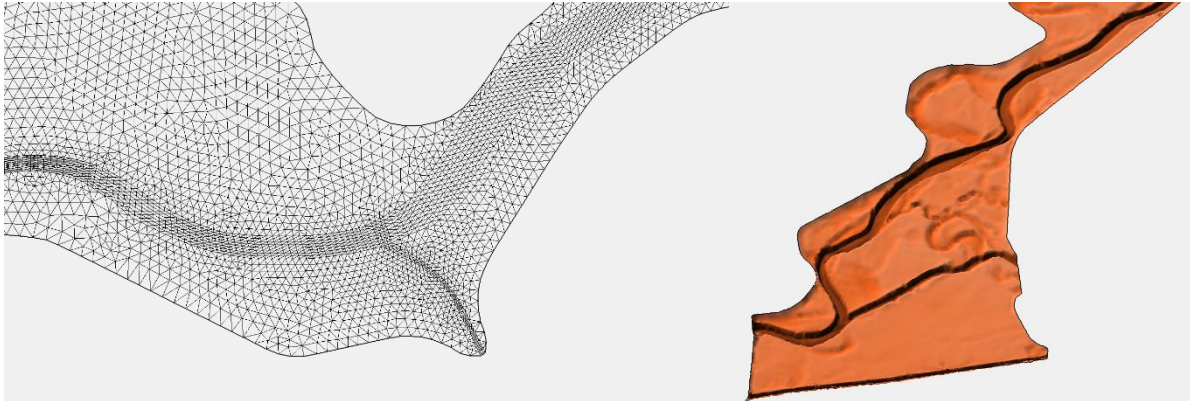
A két használt modellező szoftver merőben eltér egymástól, így különböző modellezési megoldásokat kellett alkalmazni. A HEC-RAS modellben a rácshálót a program beépített rácsháló szerkesztőjével készítettük el. A HEC-RAS rácsháló rendszerint ortogonális négyzőghálóból áll, ez alól kivételt jelentenek a modellhatár és a vonalas állományok, ahol egy jól illeszkedő struktúrálatlan sokszöghálót alkalmaz a program (HEC-RAS, 2022). A hullámtéri- és nyílt árteres részeket rendszerint 50x50 méteres cellákkal írtuk le, a meder és a vízterelő objektumok környezetében 5 méteres cellaéleket használtunk. 11 területhasználatot különböztettünk meg az ortofotók alapján, ezekre egy tipikus érdességi értéket mutat a 6. ábra.



6. ábra. HEC-RAS modellfuttatások során használt példa rácsháló (bal) és területhasználat (jobb)

A MIKE 21 FM modellezés során a rácsháló elkészítéséhez az SMS elnevezésű programot használtuk. Ebben könnyen létrehozható a MIKE-kal kompatibilis, struktúrálatlan háromszögháló, melynek előnye a strukturáltál szemben, hogy szinte bármilyen területi kialakításhoz rugalmasan illeszkedik (Krámer, 2006). Míg a HEC-RAS esetében minden cella saját tározó görbével rendelkezik és aszerint töltődik fel, addig a MIKE esetében a terepmagasságok a cellák sarokpontjaiban vannak értelmezve. Ezért is fontos, hogy MIKE modellezés esetén például egy vízterelő objektumot minimum 3 sor cellával írjunk le. A 7. ábra a meder menti sűrítésre és az

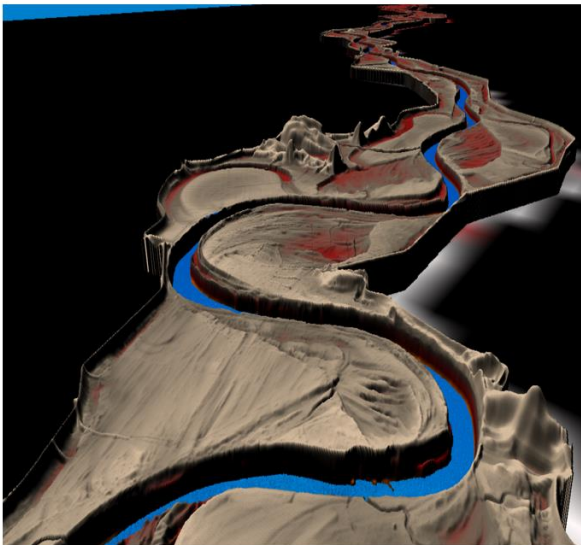
ártér külső része felé történő fokozatos ritkításra, valamint az alkalmazott terepmodellre mutat egy-egy példát.



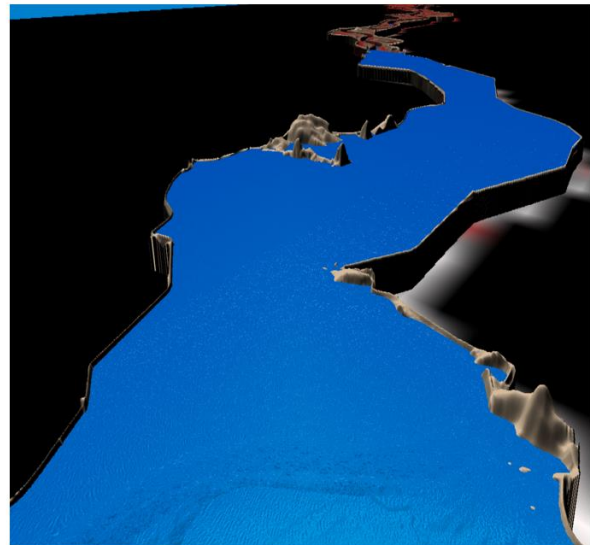
7. ábra. MIKE modellfuttatásokhoz használt példa: rácsháló (bal) és digitális terepmodell (jobb)

A modellek segítségével 3D animációkkal lehet az elöntésről jobb áttekintést kapni (8. ábra), valamint az áramvonalak megjelenítésével a zónációk is felülvizsgálhatók (9. ábra).

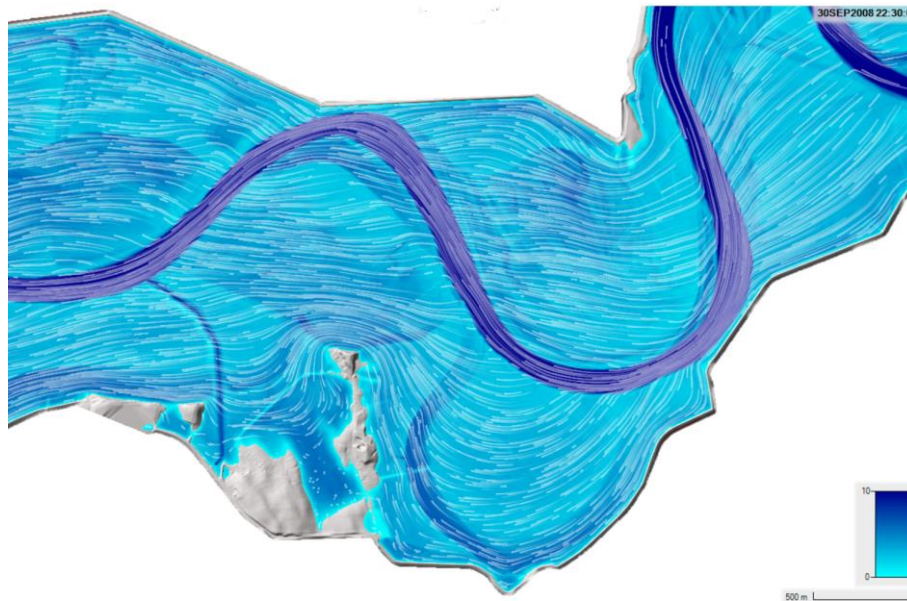
Kis- és közepes vízhozamok



1%-os vízhozam



8. ábra. Hidrodinamikai modellezés során készült háromdimenziós animációk egy reprezentatív szakaszon

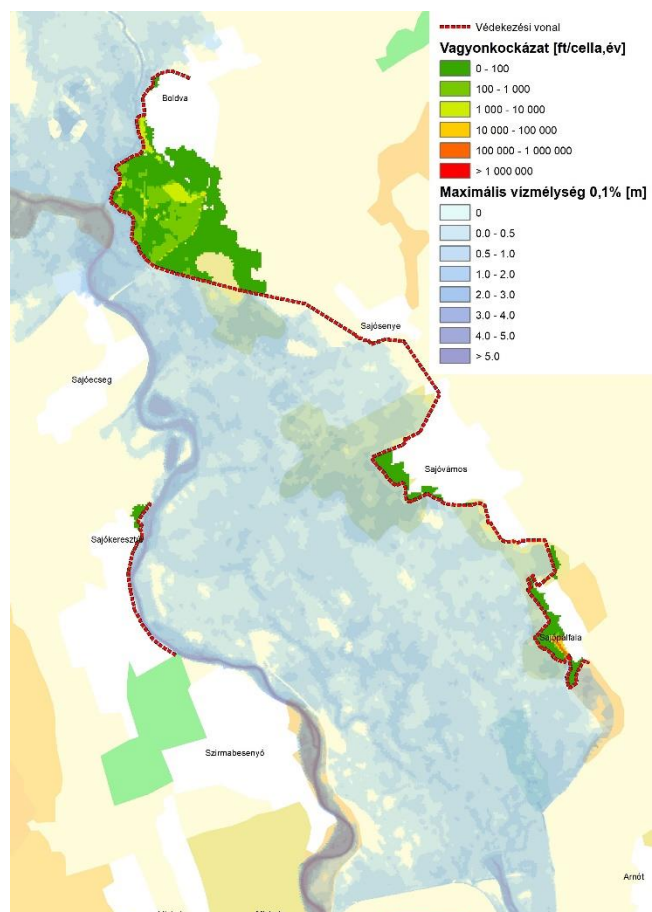


9. ábra. A zonációk meghatározását elősegítő áramvonalas térkép egy reprezentatív szakaszon.

2.5 Kockázati térképezés

Az elöntési térképek elkészülte után, azokat felhasználva, előállíthatók a vagyon kockázat térképek. Lényeges kérdés az eredmények szempontjából, hogy honnan számítjuk a nyílt árterek kockázatát, mivel ezek egy része jellemzően vízjárta terület. Számos verzió vizsgálata azt mutatta, hogy határnak a védekezési vonalakat célszerű tekinteni. Ezek rendszerint olyan vonalak, amelyek mentén a helyi Vízügyi Igazgatóságok biztosítják a védekezést: ilyen lehet egy belterületi magaslat vagy egy külterületi út (10. ábra).

A kockázati paraméterek az ÁKK-ban használt általános módszertan alapján kerültek meghatározásra. A leginkább reprezentatív paraméter a vagyoni kockázat, ami a bekövetkezett kár és a bekövetkezés valószínűségének szorzata. Az életkockázati érték az emberi életveszély és a bal-eset szempontja szerinti vízmélység kategóriák előfordulási valószínűségét mutatja, a laksűrűség figyelembevételével. Ez a paraméter mutatja, hogy milyen valószínűséggel fordul elő olyan elöntési vízmélység (tartomány), amely például már veszélyes lehet az egyének számára.



10. ábra. A védekezési vonal (piros szaggatott), azaz a vagyonkockázat számítás határa

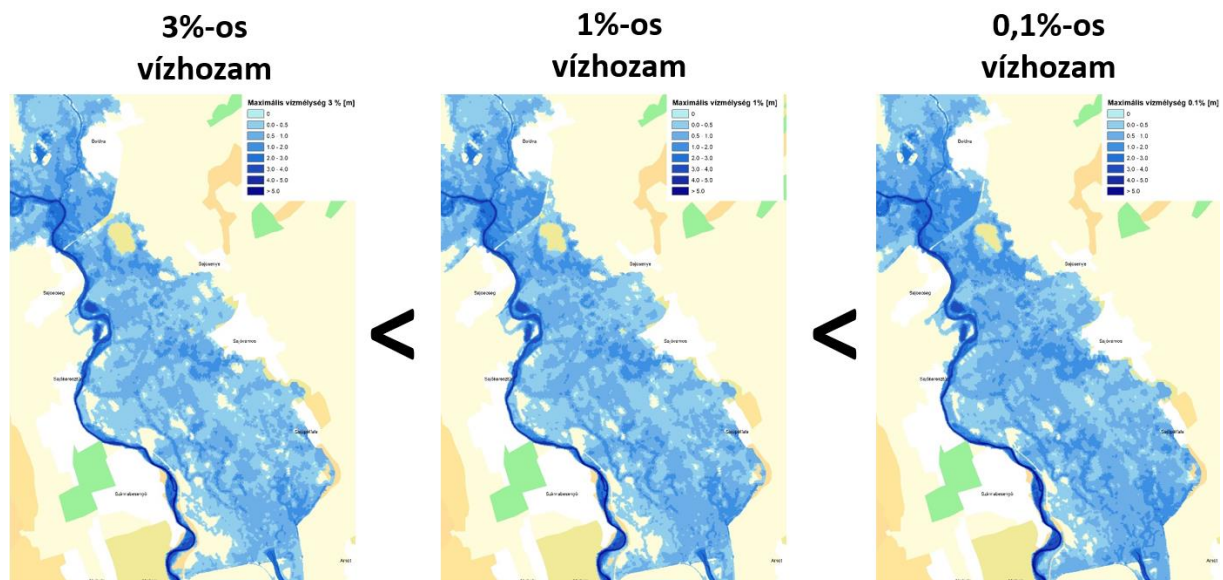
Amennyiben ez az érték sűrűn lakott területen található, az életkockázati érték is magasabb lesz, tehát a sűrűn lakott területeken súlyosabb gondot okoz a nagyobb vízmélységek előfordulása. Ez az érték 0,04 alatt elfogadható, 1 fölött kiemelt kockázatot jelent, a kettő között valamilyen köztes kategóriába esik. A nem vagyoni alapú kockázatok esetén az egyes valószínűséghez tartozó érintettséget néztük.

Az elemzések részét képezte egy védekezés állapotra számolt kockázat számítása is, amely során feltételeztük, hogy a 33 éves és a 100 éves árvíz nem okoz elöntést a védekezési vonalon túl, ilyenkor a kockázatot kizárólag az 1000 évenként előforduló elöntésből számoltuk, ezáltal a Vízügyi Igazgatóságok védekezési szerepe a nyílt ártereken is kimutatható.

3. AZ EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

3.1. Elöntési eredmények

Országos szinten összesen 72 különálló vízmélységtérkép készült el a három kijelölt valószínűségre raszteres formátumban, 5 méteres felbontásban. Így meghatározásra kerültek azok a területek, amiket relatíve gyakran, közepes valószínűséggel vagy ritkán önt el a víz (11. ábra).



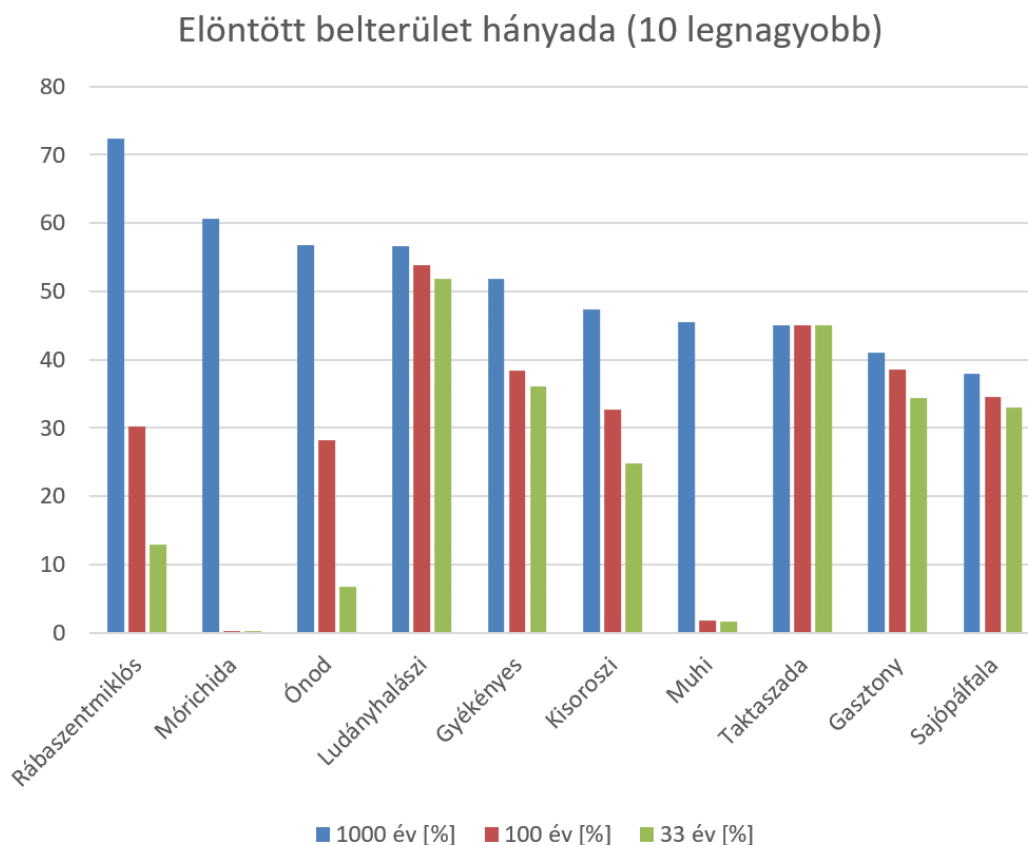
11. ábra. A három vizsgált valószínűséghez tartozó elöntéstérképek a Sajó Miskolc feletti szakaszán

Az elöntési eredmények legfontosabb mérőszáma a belterületi érintettség. A statisztikákban alapvetően a közigazgatási belterületet vettük figyelembe, azaz nem minden esetben kerülnek lakóházak vagy épületek víz alá annak ellenére, hogy a településen megjelenik a víz. Országosan a nyílt ártereken 1000 éves árhullám esetén kicsivel több, mint 40 km² belterület kerül víz alá. A Balaton tervezési egységen nincsenek nyílt árteres szakaszok, de az Alsó-Tisza tervezési egységen is elhanyagolható a mennyiségük. Az előzetes várakozásoknak ellentmond, hogy a Felső-Tisza tervezési egységen kevés a potenciálisan veszélyeztetett belterület annak ellenére, hogy számos település található a nyílt árteren. A Felső-Duna tervezési egységen már nagyobb területek kerülhetnek víz alá, elsősorban a Rába völgyében érintett települések miatt. A Közép-Tiszai tervezési egységen található a legtöbb veszélyeztetett település, a veszélyeztetett belterület itt már meghaladja a 10 km²-t. A Közép-Duna tervezési egységre eső Budapest környéki településeknek és az Ipoly mentén található településeknek köszönhetően a legnagyobb belterületi elöntés országosan itt található. (1. táblázat).

Az 1000 éves elöntéseket tekintve, a nyílt ártereken - Rábaszentmiklóson és Móríchidán - a legnagyobb a kiterjedés, szinte a települések egésze víz alá kerülhet. Ugyanakkor több településre is igaz (pl. Móríchida, Ónod és Muhi), hogy kisebb árvizek esetén minimális a veszélyeztetett terület, míg egy rendkívüli 1000 éves árhullám során szinte teljesen víz alá kerülhetnek. Ludányhalászi és Taktaszada települések esetében viszont már egy gyakoribb árhullám is komoly gondokat okozhat, e települések esetében rendkívül fontos a vízügyi igazgatóságok védekező szerepe, hogy a relatíve gyakori árhullámok se okozzanak komolyabb károkat (12. ábra).

Elöntött belterület [km ²]			
	1000 év	100 éves	33 éves
Alsó-Duna	1,23	1,03	1,00
Alsó-Tisza	0,11	0,08	0,05
Dráva	4,97	3,61	3,08
Felső-Duna	8,51	5,94	5,02
Felső-Tisza	0,46	0,29	0,22
Közép-Duna	14,54	11,71	9,74
Közép-Tisza	10,49	7,16	5,59

1. táblázat. Elöntött közigazgatási belterület nagysága tervezési egységenként



12. ábra. A 10 legveszélyeztetebb település belterületi elöntési hányada

3.2. Kockázati eredmények

A végeredményeket a későbbi beruházásoknak alapot adó kockázati eredmények foglalják össze. Országos szinten a nyílt ártereken az összes vagyoni kockázat valamivel több, mint 5 milliárd Ft/év, aminek legnagyobb részét a Közép-Duna tervezési egységen található kockázat tesz ki, de jelentősen magasak az értékek a Felső-Dunán és a Közép-Tiszán is. Az életkockázati

indikátorok szintén a Közép-Dunán a legjelentősebbek, ugyanakkor sehol se haladja meg a 0,04-es határértéket, így az életkockázat a nyílt ártereken mindenhol elfogadható. A védekezés hatására a vagyoni kockázat körülbelül a tizedére csökkenthető, ehhez azonban a 100 éves és 33 éves árhullámok kivédése elengedhetetlen (2. táblázat).

	Védekezés nélkül						Védekezéssel				
	Vagyoni kockázat			Életkockázat			Vagyoni kockázat			Életkockázat	
	Összesen	Átlag	Maximális	Átlag	Maximális		Összesen	Átlag	Maximális	Átlag	Maximális
	1000 Ft/év	1000 Ft/rc/év	1000 Ft/rc/év	-	-		1000 Ft/év	1000 Ft/rc/év	1000 Ft/rc/év	-	-
Alsó-Duna	142 894	14	14 239	0,010	0,031	Alsó-Duna	3 983	0.4	333	0,0002	0,0008
Közép-Duna	4 405 188	23	15 032	0,010	0,074	Közép-Duna	546 351	2.9	614	0,0008	0,0018
Felső-Duna	306 399	6	9 632	0,007	0,040	Felső-Duna	13 177	0.2	362	0,0003	0,0010
Dráva	58 206	3	2 314	0,003	0,026	Dráva	2 577	0.2	56	0,0003	0,0006
Alsó-Tisza	9 644	3	2 842	0,001	0,003	Alsó-Tisza	772	0.2	164	0,0003	0,0006
Közép-Tisza	196 122	1	2 842	0,006	0,035	Közép-Tisza	16 398	0.1	164	0,0004	0,0013
Felső-Tisza	64 068	1	2 314	0,004	0,017	Felső-Tisza	7 545	0.1	56	0,0003	0,0006
Összesen	5 246 763					Összesen	593 257				

2. táblázat: A nyílt ártereken jelentkező vagyoni- és életkockázat védekezés nélkül (bal) és védekezéssel (jobb)

Vannak egyéb, pénzben nem kifejezhető kockázati paraméterek is, amelyeket érdemes szem előtt tartanunk. A leginkább kézzelfogható az érintett lakosság, amely nyílt árterek esetében 142 ezer főt számlál (3. táblázat). Ez nem feltétlenül azt jelenti, hogy ezek az emberek mindenképp elveszítenék az otthonukat egy rendkívüli árvíz esetén, de kitelepítésük mindenképp szükséges lenne. Egy-egy szennyezőforrás elöntése is felbecsülhetetlen károkat okozhatna, de lényeges tisztában lennünk a veszélyeztetett kulturális örökséggel és az érintett ökológiai területekkel is.

	Érintett lakosság			Szennyezőforrások			Kulturális örökség			Ökológia		
	3% fő	1% fő	0,1% fő	3% db	1% db	0,1% db	3% m2	1% m2	0,1% m2	3% m2	1% m2	0,1% m2
Alsó-Duna	132	146	169	2	2	3	400	400	400	1 950 400	1 982 800	2 105 600
Közép-Duna	36 650	55 965	125 412	20	26	41	1 756 000	2 324 800	44 416 000	7 352 800	8 278 400	8 810 800
Felső-Duna	1 084	1 463	2 405	4	18	31	48 400	74 000	82 000	1 220 400	1 581 600	3 021 200
Dráva	613	981	1 797	0	0	0	0	0	800	1 154 400	1 193 600	1 407 600
Alsó-Tisza	3	8	22	0	0	0	0	0	0	41 200	65 200	118 000
Közép-Tisza	5 626	7 224	11 392	2	2	19	2 398 800	2 414 800	2 439 200	4 678 000	5 886 400	6 682 000
Felső-Tisza	664	664	831	4	4	4	14 619 200	15 104 400	15 104 400	7 573 200	7 573 200	7 573 200
Összesen	44 772	66 451	142 027	32	52	98	18 822 800	19 918 400	62 042 800	23 970 400	26 561 200	29 718 400

3. táblázat A nyílt ártereket érintő nem vagyoni kockázatok tervezési egységenként

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Nagyobb folyóink elsősorban árvízvédelmi töltéssel védettek, ezáltal a mentesített területeken lényegesen nagyobb árvízi kockázat jelentkezik, ugyanakkor a nyílt ártereken is jelentős kockázattal kell számolnunk, amelyet az ÁKK egyértelműen kimutatott. Az eredmények segítséget nyújthatnak a jövőben esedékes, nyílt ártereket érintő beruházások szükségességének igazolásában, illetve maguknak az intézkedéseknek a tervezésében. A vizsgálatok során törekedtünk a korábbi ágazati projektekkel való összehangolásra, így a kiindulási alapot a 2014-ben elkészült Nagyvízi Mederkezelési Tervek jelentették. Új projektek és új, pontosabb alapadatok felhasználásával az eredmények a következő években tovább pontosíthatóak. Új töltések építése és régi töltések elbontása átalakíthatják a nyílt árteres határokat, ezért az eredmények folytonos frissen tartása és felülvizsgálata elengedhetetlen lesz a jövőben.

IRODALOMJEGYZÉK

Nagy László (2005), Árvízi kockázat az árvízvédelmi gát tönkremenetele alapján, *PhD. értékezés*

Krámer Tamás (2006), Solution-adaptive 2D modeling of wind-induced lake circulation, *PhD. thesis*

Horkai András (2014): Árvízi kockázat kezelés (ÁKK), metodikai összefoglaló, Vízgazdálkodási tervezés konstrukció, B) komponens: Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv készítése. KEOP – 2012 - 2. 5.0/B

Kerék Gábor (2020), Az árvízhidrológia jelentősége a környezetvédelemben, *Biztonságtudományi Szemle* 2020. II. évf. 2. szám

HEC-RAS 2D User's Manual (2022) <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Bálint Márton (2022): Nagyvízi mederkezelési tervek készítése, *Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Baja Árvíz- és belvízvédelmi Szakmérnök Képzés 2022. március 10.*