

# KISVÍZFOLYÁSOK ELÖNTÉSI ÉS VESZÉLYTÉRKÉPEZÉSI FOLYAMATA, KOCKÁZATI EREDMÉNYEI

**Bálint Márton**

projekt irányító tervező

VIZITERV Environ Kft.

## KIVONAT

Az ÁKK keretein belül a kisvízfolyások elöntéstérképezése *HEC-RAS 2D* modellek futtatásával történt. A modellezéshez használt input vízhozamok a *Koris Kálmán* által frissített hidrológiai számítási segédlet felhasználásával lettek definiálva. A vízmélység eredmények kalibrálására valós esemény térkép híján terepbejárással került sor. A terepbejárás tapasztalatai és a modellezés alapján meghatározható az egyes vízfolyások kockázati érintettsége és annak mértéke. Kockázati kategóriák szerinti besorolással és egy kockázati rangsor felállításával meghatározható, hogy mely vízfolyásokon szükséges beavatkozni. A kockázati rangsor, így az egyes vízfolyások beavatkozási igényének naprakészen tartása elengedhetetlen a valóban szükséges fejlesztések megtervezéséhez. A rendelkezésre álló modellek, helyszíni kalibrálással együtt konkrét lehetőséget biztosítanak nem csak a jelen állapot felmérésére, de a tervezett intézkedések validálására is.

## KULCSSZAVAK

árvíz, dombvidéki kisvízfolyások, elöntés, kockázat, 2D hidrodinamikai modellezés, ÁKK

## BEVEZETÉS

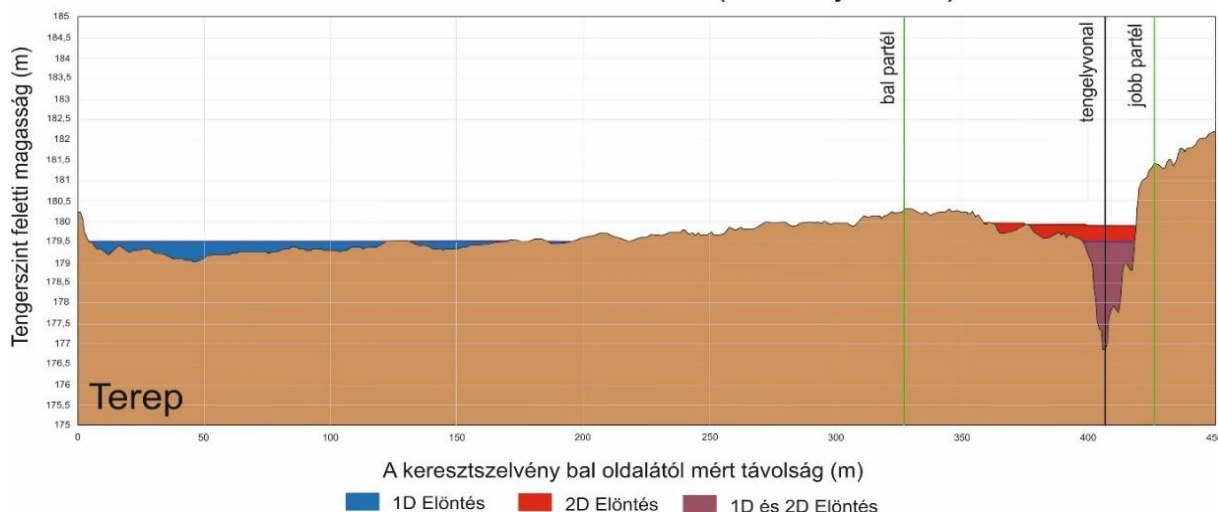
Az első kisvízfolyás metodikai fejezetek 2008-2010 környékén készültek, azóta nagyon sok fejlődés történt az elöntési térképek számítására használt numerikus szoftverekben, továbbá a vízügyi ágazat adatellátottsága és adatbázisai is jelentős fejlődésen mentek át.

A kisvízfolyások esetében különösen nagy volt a fejlődési lehetőség, mivel az első ÁKK-ban Chézy képleten alapuló számítási módszert alkalmaztunk, amelyek részben a permanens állapot feltételezése miatt sok esetben túlzónak bizonyultak. Míg szűk, dombvidéki területeken az így generált eredmény elfogadható volt, a vízfolyások alsóbb, síkvidéki területeken már hibás elöntési képeket adott. A végleges módszertan megfogalmazását megelőzte egy modellezési tanulmány, amely célja az volt, hogy komplex módon megvizsgáljunk „state of the art” módszereket, és az ÁKK számára javaslatot tegyünk a kisvízfolyások modellezésére.

## MÓDSZERTAN

A tanulmány során a *HEC-RAS* modellező szoftvert használtuk, és összesen 4 geometriai kialakítást teszteltünk a választott vízfolyásunkon, amiket modellezési időigény, elöntési eredmény pontosság és üzemeltetési komplexitás alapján értékeltünk. Eredményeink alapján a kialakítások közül a vízfolyás egységes 2D modellezését találtuk a legalkalmasabbnak geometriai kialakításúnak veszély és kockázati térképezéshez, ugyanis annak elöntési pontossága messze meghaladta az 1D modell számított eredményeit (Lásd „1. ábra”), üzemeltetése pedig jóval egyszerűbb volt az 1D-2D hibrid modelleknél, és a számítási időigény is elfogadható.

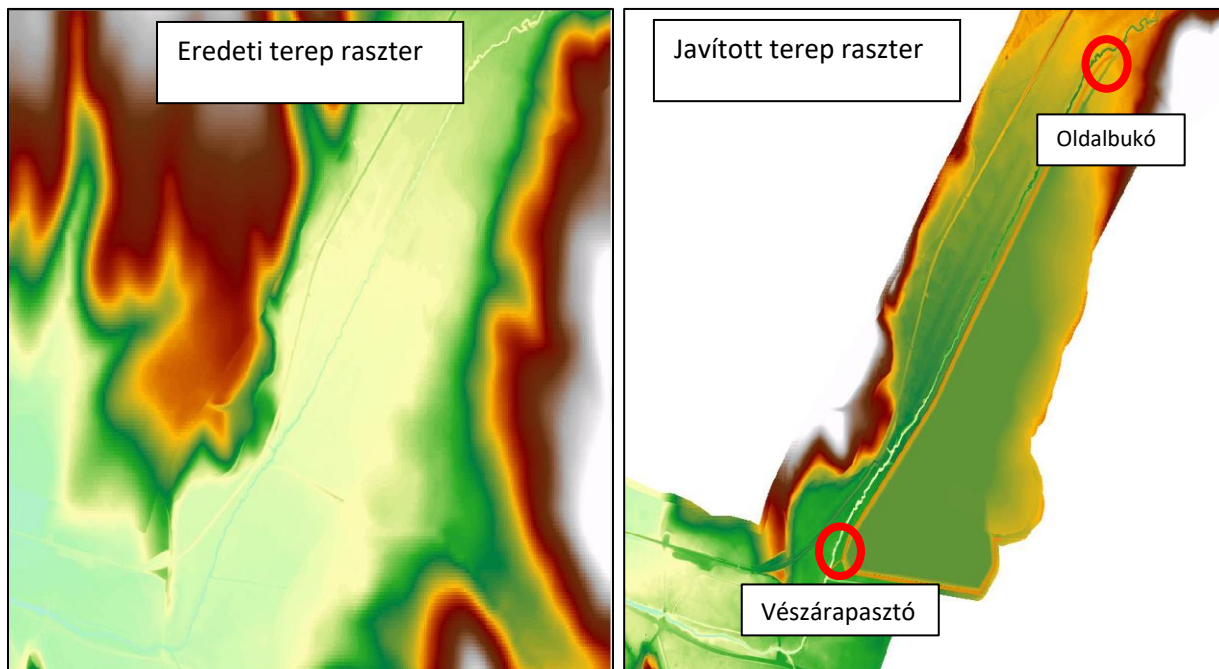
## A hullámtér elöntése 1D-2D (szelvény:16900)



1. ábra. Eltérés a teljes 1D és teljes 2D geometriai kialakítás elöntési eredményei közt az Eger-patak 16+900 keresztaszelvényénél.

### Modellezéshez használt alapadatok, és a modellépítés folyamata

A 4 geometriai kialakítás tesztelését és eredményeik értékelése után az ÁKK-s kisvízfolyások teljes 2D null-modelljeinek előkészítése és tesztelése következett. Ezek a null-modellek tartalmazzák a modellek geometriai adatait, valamint azok áramlási és szimulációs beállításait. Jellemző, hogy a vizsgált vízfolyások alapadat ellátottsága szinte teljesen megegyező, mivel egy mérési ciklusban készült a 118 kisvízfolyás felmérése.



2. ábra. A Magyarszéki tározó beégetése a Baranya-csatorna modellezéshez használt terep raszterbe

A végleges kisvízfolyás modellek felépítése így egységes módszertan alapján történhetett, esetenként terep és modell geometriai javításokkal kiegészítve, amelyeket a Vízügyi Igazgatóságok által delegált szakértők fogalmaztak meg. A javítási feladatok jellemzően tározók, torkolati műtárgyak, depóniák elöntésre gyakorolt hatásának modellekbe való

integrálására vonatkoztak (Lásd „2. ábra”). Az Igazgatóságokkal történő szoros együttműködés elengedhetetlen ahhoz, hogy a modelleket valós elöntési események alapján kalibrálni tudjuk.

A modellezéshez használt terep adatokat és a modellhatárt a meder közvetlen környezetében végrehajtott 2013-2014-es LIDAR felmérések 1 m-es felbontású eredményei adták. A domborzati raszter viszonylagosan kis felbontásából adódóan a meder nem volt mindig élesen kivehető, ezért minden vízfolyás esetben szükség volt a meder utólagos raszterbe égetésére. Részletes keresztaszvénny adatok hiánya miatt a terepbe égetett meder szélessége és mélysége eltérhet a tényleges mederétől.

### **Előfordulási valószínűségek**

A közösen megállapított Q1%, Q3% és Q10%-os valószínűségű elöntésekre készülnek a veszélytérképek. A kiválasztott három valószínűség megfelel minőségű és mennyiségű eredményt biztosít a kockázatértékelés teljesítéséhez.

### **Partél korrekció**

A 118 kisvízfolyás modellezéséhez először a geometriát kell előállítani. Ezeket korábbi modellekből, illetve a vízügyi igazgatóságoktól kapott geometriai adatokból, valamint ahol szükséges kiegészítő felmérésekkel végezzük. A keresztaszvények geometriai vizsgálata során kiderült, hogy a partélek elhelyezkedésével problémák adódtak. Ezeket először manuálisan kezdtük korrigálni, de elkészítettünk egy, a meder környezeti domborzati viszonyainak észlelésén alapuló, a partélek automatizált illesztésére irányuló, saját fejlesztésű alkalmazás készítése, amelybe a későbbiekben további ellenőrző alkalmazások fejleszthetők.

A partél azonosításához a kiindulási adatok az alábbiak:

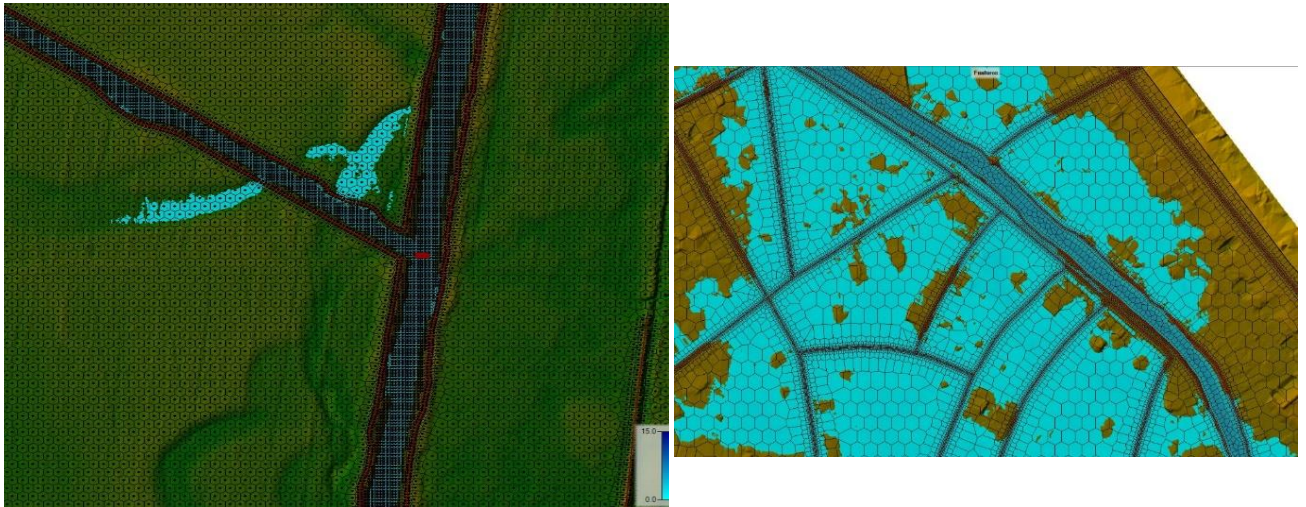
- Csatorna/vízfolyás nyomvonala (kb. tengelyvonal - TENGELY) – 3D sokszögvonallal
- Keresztaszvény sorozat (KSZ) – 3D sokszögvonallal sorozat

Az alkalmazás használata után a következők a tapasztalatok: A partélek manuális felülvizsgálata továbbra is szükséges, azonban a szoftver segítségével 80-85%-al kevesebb alkalommal volt szükség manuális korrekcióra, ami a rendelkezésre álló 204 keresztaszvény esetében (1 keresztaszvényben 2 partél található) 60-80 kézzel felvett partélt jelent.

### **A modellépítés folyamata**

A 2D számítási területre a HEC-RAS modellek esetében korábban megszokott négyszög alakú rácsháló helyett hatszög alakú rácshálót alkalmaztunk, amely segítségével pontosabban modellezhetjük a mederből kilépő víz elöntési dinamikáját. A számítási cellák mérete a modellterület nagyságától függően 4-30 m volt. Az elöntés szempontjából kritikus területeken (meder, depóniák, töltések) rácsháló sűrítést alkalmaztunk. Erre azért volt szükség, mert a modell egy adott számítási cellán belül figyelmen kívül hagyja az elöntés kiterjedését befolyásoló lokális magaslatokat. Egy vízfolyás mentén épített töltés elöntésre gyakorolt hatása csak abban az esetben modellezhető, ha a környező cellák határvonala pontosan a magaspontra illeszkedik. A magasponatok geometriájának létrehozása a vízterelő objektumok esetében manuálisan, a partélek esetében egy automatizált, belső fejlesztésű partél kereső alkalmazás segítségével történt.

További modellezési újdonság, hogy a korábban modellterületen belül egységes Manning simasági tényező helyett a null-modellek felépítése során megkülönböztetésre került a mederre és a hullámtérre vonatkozó „n” érték.



3. ábra. HEC-RAS 2D geometriai kialakítás a Babócsai-Rinya vízfolyás esetében.

A pontosabb elöntési eredmények elérése érdekében az alsó és felső peremfeltétel vonalak mellett az országos részvízgyűjtő adatok alapján beillesztésre kerültek belső peremfeltétel vonalak, amik segítségével sikerült differenciálnunk a vízhozamot a vízfolyások különböző szakaszain. Ezzel integrálni tudtuk a hozzáfolyások vízhozamra gyakorolt hatását a modellezésbe.

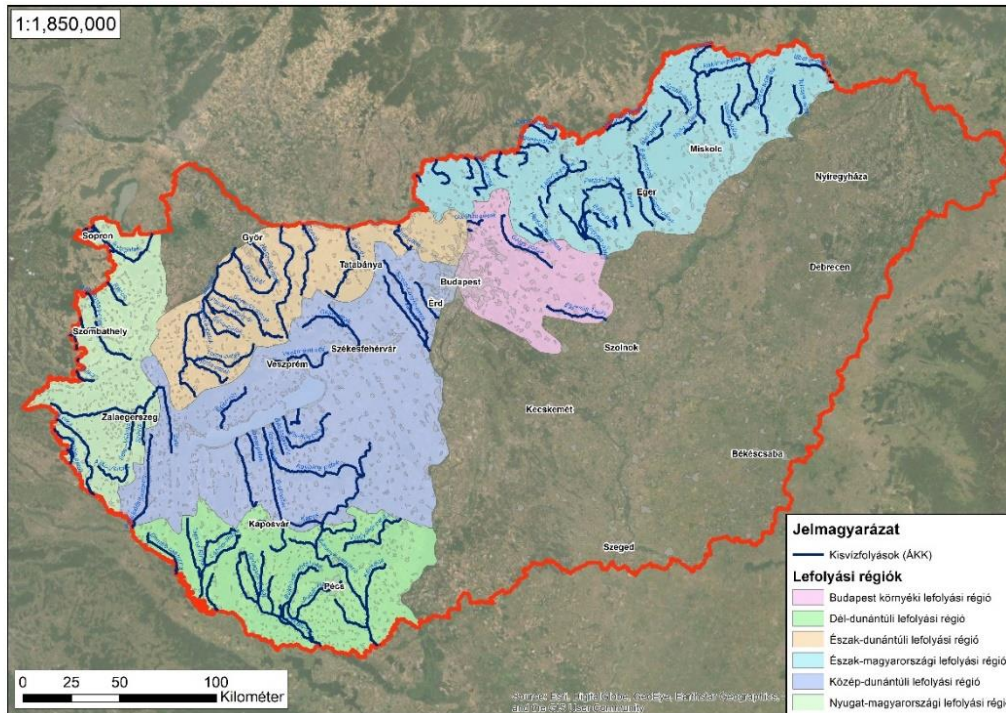
### Az elöntések validálása

Jellemző probléma, hogy gyakorlatilag nincs olyan vízszint-vízhozam mérő állomás, amely egy kisvízfolyáson úgy helyezkedne el, hogy annak adatait kalibrációra lehet használni. A kalibrációt tovább nehezítette, hogy nem állt rendelkezésünkre olyan valós elöntéshez tartozó vízmélység térkép, amit össze lehetne hasonlítani az általunk létrehozott állománnyal. Kiválasztottunk néhány olyan kisvízfolyást, amelyeknél az elmúlt pár évben valós elöntési esemény volt, és egy helyszíni bejárással összevonva megvizsgáltuk, hogy a HEC-RAS modellek alapján, mely szakaszokon lép ki először a mederből a víz, és ellenőrizzük a terepviszonyokat ezek mentén a **kilépési szakaszok** (potenciális védekezési vonal) mentén. Minden esetben azt tapasztaltuk, hogy az általunk meghatározott vízfolyás szakaszok valóban megegyeztek azokkal a szakaszokkal, ahol az árvízkarok csökkentése érdekében először szükséges védekezni.

### A modell input vízhozamok számítása

A modellezéshez használt input vízhozamokat a legfrissebb kapcsolódó hidrológiai tanulmány (Dr. Koris Kálmán Árvízi Kockázat Kezelés Hidrológiai Alapjai - 2020) felhasználásával állítottuk elő. A tanulmányt megalapozó vízmérce idősorok jóval megbízhatóbb statisztikai alapadatként szolgálnak, a korábban használt adatoknál. Az előző hidrológiai tanulmány megújítását indokolta, hogy 2002 óta több üzemelő vízmérce található az országban, a meglévő vízmércék idősorai pedig 18 év adataival bővültek. Ezzel párhuzamosan a vízgyűjtő lehatárolásra használt térinformatikai szoftverek és domborzat modellek is lényeges fejlődésen mentek keresztül.





4. ábra. Lefolyási régiók és ÁKK kisvízfolyások Magyarországon.

A tanulmány végrehajtásához hat olyan Igazgatóság (DDVIZIG, ÉDUVIZIG, ÉMVIZIG, KDTVIZIG, KDVVIZIG, NYUDUVIZIG) vízfolyásait vizsgáltuk, melyek zömmel hegy- és dombvidéki vízgyűjtőket foglalnak magukba. A modell input vízhozamok meghatározásának első lépései a részvízgyűjtő területek lehatárolása, és azok geográfiai paramétereinek meghatározása (erdőterület borítottság, főmeder hossz, vízgyűjtő szélesség, hosszúság, terepviszonyok stb.). Ezt követően az adatsorok alapján a vízhozam eloszlásfüggvények készültek el, amik lehetőséget adtak a nagyvízhozamok és valószínűségi szorzók definiálása a tanulmányban szereplő vízmércékre. Ezen adatok és az OVF 2001-es tanulmányának felhasználásával pedig meghatározhatóvá vált az adott vízfolyás bármelyik szelvényére a terhelő vízhozam.

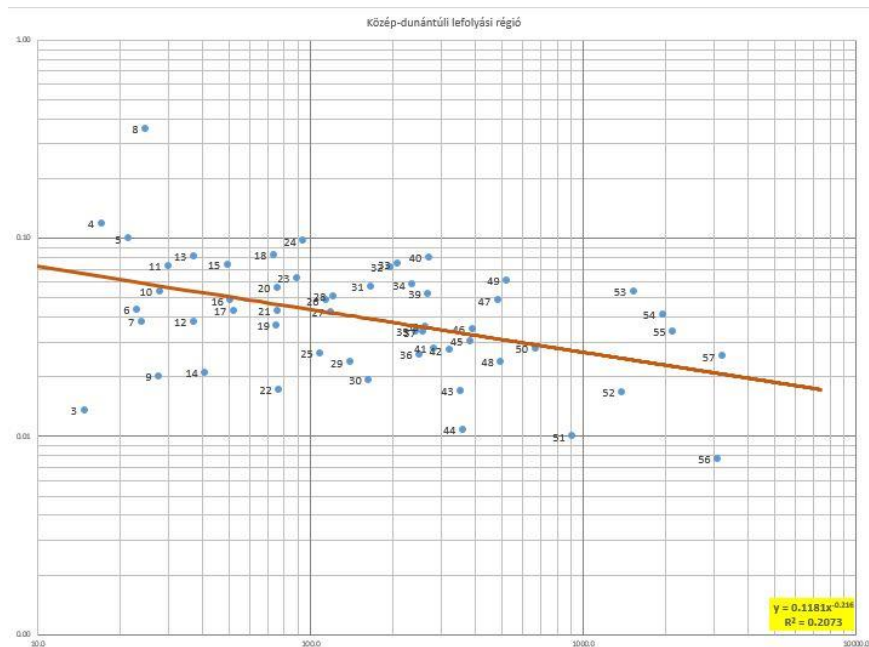
A vízhozam számítási módszer kizárólag Magyarország dombvidéki régióin alkalmazható, azokon a területeken, amiket lefed valamelyik a 6 lefolyási régió közül (Lásd „4. ábra”). A módszer segítségével bármilyen vízfolyás választott szelvényére meghatározható 8 különböző előntési valószínűsége a vízhozam, amennyiben tudjuk a szelvényhez tartozó részvízgyűjtő méretét.

A vizsgálatokba 210 olyan vízfolyás árvízi (NQ) adatsorát lehetett bevonni, melyek statisztikai hosszúsággal rendelkeztek, összesen 10 767 árhullámot vonva a számításokba. A statisztikai hosszúságú adatsorokat az ismert hidrológiai statisztikai módszerrel dolgoztuk fel. Elvégeztük az adatsorok függetlenség és homogenitás vizsgálatát, az idősor tulajdonságainak elemzésével és trend analízissel. Ezek után a független és homogén adatsorok eloszlásvizsgálata adta az árvízi kockázatkezelési elemzések alapjait. Meghatároztuk a nagyvízi adatsorok empirikus eloszlásfüggvényeit, majd az elméleti eloszlásokat. A vizsgálatoknál a nagyvízhozamokra levezetett elméleti eloszlástípusokat vettük figyelembe (normál- és exponenciális eloszlás családok), mindig a szélsőséges valószínűségi tartományban történő jó illeszkedést szem előtt tartva. Az adatállomány feldolgozási időszaka az észlelések kezdetétől 2019-ig terjedt. A számított valószínűség eloszlások alapozták meg a kisvízfolyásokra érvényes árvízszámítási segédletet, amelynél a vízgyűjtőterület nagysága  $A = 10 - 6000 \text{ km}^2$  közötti tartomány.

A segédlettel számíthatók - egy tetszés szerinti magyarországi vízgyűjtő - különböző valószínűségű árvízhozamai:

$$Q_p\% = a_i \cdot q_{5\%} \cdot A,$$

ahol  $a_i$ -valószínűségtől függő szorzó, A-vízgyűjtő nagyság,  $q_{5\%}$ -az 5%-os előfordulási valószínűségű fajlagos árvízhozam. Ez utóbbi számítási függvénye az alábbi ábrán látható, példaképpen az egyik lefolyási régióra (Lásd „5. ábra”).



5. ábra. A Közép-dunántúli lefolyási régió számítási függvénye.

### Az elöntési, veszély- és kockázati eredmények előállítása

A vízmélység eredmények előállítása relatíve időigényes folyamatnak számít, ugyanis az ÁKK keretein belül összesen 336 vízmélység eredmény készült el, amelyek futtatási ideje összesen kb. 140-150 napot vesz igénybe. Természetesen ezek a modellek több számítógépen futottak egyszerre, így ez az idő megfelelő informatikai háttérrel csökkenthető, viszont a verziók generálásánál mindenképp figyelembe kell venni az ilyen volumenű futtatások hardver és humán erőforrás igényét.

A 2D modellek tömeges futtatását követően az elöntési eredmény raszterek, az ÁKK országos területhasználati térkép és a területhasználati kategóriákhoz tartozó fajlagos vagyonértékek és kárfüggvények felhasználásával végrehajtottuk a veszély- és kockázati térképezést. A kisvízfolyások esetében a SAFER módszerrel meghatározott domb és hegyvidékre alkalmazott kárfüggvényeket használtuk, amelyek nem azonosak az öblözetek esetében használt síkvidéki kárfüggvényekkel. A veszély- és kockázat eredmény raszterek generálásához az ÁKIR alkalmazást használtuk. ÁKIR segítségével vízfolyásonként –elöntés kiterjedésétől függően - maximum 13 térképet állítottunk elő:

Sorszám	Raszter típusa	Raszter neve	Raszter tartalma
1	Veszélytérkép	1. Kategória	H < 0,5 m vízmélységű és v < 1 m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.
2	Veszélytérkép	2. Kategória	h < 0,5 m vízmélységű és 1 < v < 2 m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.

Sorszám	Raszter típusa	Raszter neve	Raszter tartalma
3	Veszélytérkép	3. Kategória	$h < 0,5$ vízmélységű és $v > 2$ m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.
4	Veszélytérkép	4. Kategória	$0,5 < h < 1,5$ m vízmélységű és $v < 1$ m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.
5	Veszélytérkép	5. Kategória	$0,5 < h < 1,5$ m vízmélységű és $1 < v < 2$ m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.
6	Veszélytérkép	6. Kategória	$0,5 < h < 1,5$ m vízmélységű és $v > 2$ m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.
7	Veszélytérkép	7. Kategória	$h > 1,5$ m vízmélységű és $v < 1$ m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.
8	Veszélytérkép	8. Kategória	$h > 1,5$ m vízmélységű és $1 < v < 2$ m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.
9	Veszélytérkép	9. Kategória	$h > 1,5$ m vízmélységű és $v > 2$ m/s vízsebességű elöntött területek. A raszter értéke a kialakuló valószínűséggel egyenlő.
10	Kockázati térkép	Emberi élet kockázat	Árvízi események emberekre vonatkozó terhelését bemutató raszter. Az életkockázati indikátor az elöntések előfordulási valószínűségét és a laksűrűséget veszi figyelembe.
11	Kockázati térkép	Emberi élet terhelési osztály	Vízmélység kategóriák (5) az 1%-os elöntési eredmény alapján.
12	Kockázati térkép	Vagyoni kockázat	Várható anyagi károk mértékét bemutató raszter (ft/rc/év)

A fenti eredmény térképeken és az országos és tervezési egység szintű területhasználati térképeken felül rendelkezésre áll ökológiai, kulturális örökség, laksűrűség, ingatlan vagyonérték térkép és a kiemelt szennyezőforrások térképe, amelyek további vizsgálatokat tesznek lehetővé.

Az ÁKIR-ból származtatott raszterek és táblázatok segítségével lehetőség nyílt a modellezett vízfolyások eredményeinek egyszerűsített kiértékelésére mind vízfolyás, mind tervezési egység szinten.

## A VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATI TÉRKÉPEZÉS KORLÁTAI, JAVASOLT FEJLESZTÉSI IRÁNYOK

### Alapadatokkal kapcsolatos korlátok

#### *Elöntéstérképezés*

A jelen állapoti modellek elöntési eredményei a jövőben nagymértékben pontosíthatók, azonban ehhez elsősorban a térinformatikai és hidrológiai alapadat állományok bővítésére van szükség.





6. ábra. Elöntést befolyásoló vasbeton falak az Eger-patak mentén (Eger)

A LIDAR terep adatok jelenleg nem tartalmazzák a vízfolyás menti 1 m-nél vékonyabb vízmozgást befolyásoló objektumokat (vasbeton fal, házfal), így a modellezett elöntés a belterületek környékén félrevezető lehet. Az ilyen objektumok azonosítása és térinformatikai adatbázisba rendezése (3D polyline) nélkülözhetetlen a belterületi elöntések pontos modellezéséhez.

A belterületi elöntések kiterjedését a betorkolló vízfolyásokra telepített elzárható zsilipek is befolyásolják (Lásd „6. ábra”). A zsilipek elöntésre gyakorolt hatásának integrálásához szükség van azok pontos helyének és magasságának felmérésére (3D point). A modellezéshez használt terep raszter a megadott adatok alapján módosításra kerül.

A hidrológiai adatok terén jelen állapotban a legfontosabb adatigény az adott vízfolyásokon különböző szelvényekben valaha mért legnagyobb vízhozam (LNQ). Az LNQ adatok gyűjtése különösen azokon a vízfolyásokon fontos feladat, ahol egy adott szelvényben LNQ meghaladja az 1%-os eseményhez számított vízhozamot. Célunk ugyanis, hogy a jövőben az előre meghatározott három terhelési valószínűség mellett a legnagyobb dokumentált árvízi elöntési eseményt is modellezzük. Ezeknek a futtatásoknak az eredményei a valós elöntések képei alapján kalibrálhatók.

### **Területhasználati térkép és eseménykárók**

Kihívást jelentett a modellezésnél, hogy a vízfolyás medre sok esetben nem vízfolyás kategóriába került, hanem a partján fekvő területhasználati kategóriába került besorolásra. Ezáltal a kockázati térkép a mederben is azonosított kockázatot, amely hibától az értékelést meg kellett tisztítanunk.

Bizonyos területhasználati kategóriák esetében (repülőterek és bányaterületek) vélhetően vagy ténylegesen irreálisan magas károk és ezáltal kockázatok jöttek ki eredményként. Ez esetben nem feltétlenül a területhasználati térkép felbontása vagy a területi funkciók meghatározása volt probléma, hanem a fajlagos vagyonértékek, illetve a kárfüggvények értékei. Repülőterek esetében egyféle területi besorolás történt, ezért nem tudtuk megkülönböztetni a nemzetközi jelentőségű, jellemzően burkolt kifutóval rendelkező,



nagyforgalmú reptereket a füvesített sport repülőterektől. Továbbá a repülőtéren belül nem azonosított a területhasználati térkép az épületeket, hangárakat és a repülőgépek „parkolási területét”. Ezért károkozással számolt a térképi algoritmus abban az esetben is, ha az előntés csupán a füves kifutót érintette.

A bányaterületek esetében relatíve magas egy-egy bánya vagyonértéke, mivel területére számítottuk az eszközállományt és a termelésből származó kibocsátást. Ez az eset hasonlít a repülőterekhez, mivel az eszközök nem feltétlenül a kisvízfolyás mentén helyezkednek el, illetve a termelés részleges előntés esetében lehet, hogy egy napra sem áll le. Itt is előfordulhat, hogy tényleges károk kisterületű előntések esetében egyáltalán nem fordulnak elő.

Mindkét esetben szükséges a kitettség (területi kategória, vagyonérték, kárfüggvény) valamely értékének pontosítása lokális adatgyűjtés alapján. Egyrészt a megbízhatóság növelése, az ellenőrzési munka csökkentése érdekében és amennyiben részletes tervezési munka történik a vízfolyáson.

Az eseménykárok validálása érdekében szükséges tényleges előntési események során részletes adatgyűjtést és kárértékelést lefolytatni. A károkat nagymértékben befolyásoló fajlagos vagyonértékek adattartalma legfeljebb település szintű felbontást takar (lakóingatlanok esetében), ipari termelés, szolgáltatás és kereskedelem vonatkozásában a vagyonérték becslése megyei szintű adatokat tartalmaz, az egyes létesítmények értékében igen nagy szórás lehet. E tekintetben is a lokális adatgyűjtés és adatkorrekció vezet nagyobb megbízhatósághoz. Ha egy kisvízfolyáson előntés történik, gyűjteni szükséges a tényleges károk forintban kifejezett értékét területhasználati kategória bontásban. A helyi szintű adatgyűjtés nagymértékben hozzájárul a területi károk validálásához.

<b>Felszínborítással kapcsolatos észrevételek</b>	
<b>Kategória</b>	<b>Javaslat</b>
Felszíni vizek	Jelentősebb felszíni vízfolyások prioritásának növelése.
Állóvizek	Állóvíz kategóriák létrehozása (pl.: természetes tó, tározó, halastó, bányató, holtág)
Szántóföldek	Szántóföldek differenciálása
<b>Területhasználattal kapcsolatos észrevételek</b>	
<b>Kategória</b>	<b>Javaslat</b>
Közigazgatás	Kiemelt jelentőségű közigazgatási területek megkülönböztetése
Oktatás	Felsőoktatás megkülönböztetése
Egészségügy és szociális ellátás	Kiemelt jelentőségű egészségügyi intézmények megkülönböztetése
Ipar	Kiemelt jelentőségű iparterületek megkülönböztetése
Repülőterek	Nemzetközi és sport repülőterek megkülönböztetése
Vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés során alkalmazott szennyezőforrások térképezésének vizsgálata	Pl.: Seveso, IED létesítmények kiemelése, lerakóhelyek differenciálása, szennyvíztisztítók megkülönböztetése

Az eseménykárok becslésekor nem vettük figyelembe az ipari kárelhárítási és települési kárelhárítási terveket. Az előntési esemény ellen védekezhetnek például az iparterületek előre definiált eszközökkel. Védekezési tevékenységet folytatnak az önkormányzatok is, és

folytathat a lakosság is, amelyek kockázatcsökkentő hatását a kockázati térképek szintén nem tartalmazzák. A tervezés során ezek eredményességét, hatását szintén figyelembe kell venni.

A területhasználati térképek nem tartalmazzák a területfejlesztési tervekben azonosított beépítésre szánt, magas érzékenységgű és vagyonértékű területeit. Ezek a területek hatással lehetnek a kockázatokra, beépítésük az előntési területen kockázatonövekedést okozhatnak. A beépítésre szánt területek területhasználati térképbe való illesztésével szükséges jövőbeli területhasználati térkép készítése.

### **Kisvízfolyások kockázatértékelésének célja és módja**

A veszély- és kockázati térképeket, és az előntési térképeket elkészítésüket követően értékelni szükséges, amely egy nagymértékű adatállomány értékelését jelenti előre definiált szempontok szerint. A kockázati értékelés kiterjed a kockázati tényezők azonosítására, a kockázatszámítás eredményeinek bemutatására és értékelésére. Kockázatértékelés készül mind a védett árterekre, nyílt árterekre, kisvízfolyások árterekre. A kockázati értékelést minden esetben el kell végezni (meg kell újítani), amennyiben új kockázati térképek készülnek, illetve azok elemei módosulnak. Az ÁKK veszély- és kockázati térképezés projektrész azzal zárul, ha elkészülnek a veszély- és kockázati értékelések és meghatározásra kerülnek a magas/jelentős kockázatú területek és a kockázatcsökkentés szükséges mértéke. Utóbbi alkotja a tervezés alapját, vagyis az értékelés feladata meghatározni a kockázatkezelési intézkedések beavatkozási célterületeit.

A kockázati értékelést a kockázati térképezésben és a kockázatkezelési tervezésben résztvevő szakértők végzik, ahol a kockázati értékelés minden esetben együtt készül a veszélyértékeléssel, mely kockázati szempontból a veszély forrásáról ad információt. A kockázati értékelésben résztvevő szakértőknek lehetőleg rendelkezniük kell legalább gazdasági, vízügyi, területfejlesztési, ökológiai tudással és jogosultsággal.

Az értékelés a szakmai feladat részeként nagytömegű adatfeldolgozással kezdődik, amely kiterjed a kockázati értékelés hatáskörére. Az adatfeldolgozás az ÁKIR-ban előálló (veszély-) és kockázati térképek feldolgozását jelenti. Az értékelést az ÁKIR értékelő modul alkalmazásával készítjük, amely révén egyszerűsíteni, gyorsítani és egységesíteni tudtuk a nagytömegű adatfeldolgozást és csökkentettük a feldolgozási hiba lehetőségét.

A kockázati értékelés alapvetően lényeges eleme a magas/jelentős kockázatok megkülönböztetése az elfogadható kockázatoktól. A mérnöki tervezési gyakorlatban (is) minden esetben meghatározunk egy hibatartományt, amely tartományba eső értékeket, előállított termékeket, balesetek számát elfogadhatónak tartunk. Elfogadhatónak tartjuk például a közlekedésben egy adott valószínűséggel előforduló, egy évben bekövetkező halálos balesetek számát. Még akkor is, ha intézkedéseket teszünk ennek az értéknek a csökkentése érdekében, valójában a határhasznosság elvét is figyelembe véve nem fordítunk olyan jelentős kiadásokat ennek csökkentésére, hogy az az ésszerűség mértékét meghaladja (aránytalan költségek). Ugyanakkor, ha ezt az értéket évről évre csökkenteni is tudjuk, az adott évben azáltal, hogy például gépjárművel közlekedünk, elfogadjuk a jelenleg várható baleset kockázatát. Elfogadunk tehát egy kockázati szintet, amely ez esetben a baleset előfordulási valószínűsége. Ezt a kockázati tartományt nevezzük elfogadható, vagy közepes kockázati tartománynak).

Az elfogadható kockázat meghatározásával és térképi értékelésével azonosítjuk a magas kockázatú területeket és ehhez tartozó kockázati értékeket, amelyeket csökkenteni szükség. A magas kockázatok tehát intézkedéseket indukálnak, amely intézkedések típusa, mértéke függ a csökkenteni kívánt kockázatoktól. A következőkben kockázati sorrendet (priorizálás) készítettünk, sorba rendezve a vízfolyásokat kockázatoságuk alapján, meghatározva ezáltal azokat, amelyeken mindenekelőtt intézkedések tervezésére van szükség.

Kockázati besorolás	Száma [db]	Aránya	Kockázata [Ft/év]	Vízfolyásra vetített kockázati átlag [Ft/év/vízfolyás]
Magas kockázatú vízfolyások	28	26%	9 052 985 204	323 320 900
Közepes kockázatú vízfolyások	55	51%	2 083 444 565	37 880 810
Alacsony kockázatú vízfolyások	25	23%	127 276 989	5 091 080
	108	100%	11 263 706 758	104 293 581

7. ábra. A vizsgált vízfolyások kockázati besorolásának kategóriái szerinti eloszlása, az összesített kockázati értékek bemutatásával

### Árvíz kockázati prioritási lista

Az előntési, veszély- és kockázati eredményraszterek feldolgozását követően meghatároztuk azokat a vízfolyásokat, ahol az emberi élet, és vagyoni kockázat szempontjából kiemelten fontos a védelmi intézkedések megfogalmazása. Ehhez elsősorban arra volt szükség, hogy a modellezett vízfolyásokat listázzuk előre definiált, eredményekből számolható paraméterek alapján. Összesen három elsődleges paramétert határoztunk meg, amelyekből egy az emberi élet kockázatot, kettő pedig az előntéssel érintett vagyonértékekben eső várható károkat vizsgálja és mutatja be:

#### 1. Magas életkockázattal érintett terület

Ez a paraméter azon előntéssel érintett lakóingatlanok területi kiterjedését mutatja, amik közepes, magas vagy kiemelt életkockázati kategóriába esnek.

#### 2. Területi fajlagos vagyonskockázat

A Területi fajlagos vagyonskockázat paraméter az előntött területek össz-vagyonskockázatát mutatja be terület arányosan (Ft/km<sup>2</sup>).

#### 3. Minimum szükséges kockázatcsökkentés

A Minimum szükséges kockázatcsökkentés paraméterrel azt vizsgálhatjuk, hogy az előntött ingatlan területekre számolt kockázati érték pontosan hány Forinttal haladja meg az elfogadható árvíz kockázatot.

A bemutatott paraméterek számítását – számos egyéb kontroll paraméter és vizsgálati szempont mellett - minden vízfolyásra elvégeztük. Az így kialakított prioritási listánkat felülvizsgáltuk az alapadatként szolgáló vagyonskockázati térképek részletes, egyedi áttekintésével, az alapadat és modellezési hibák kiszűrésével vagy figyelembe vételével. A kisvízfolyások végleges vagyonskockázat eredményeit nagyban befolyásolta például, hogy a kockázatszámításhoz használt ÁKK területhasználati térképében, annak felbontásából

adódóan sok esetben a vízfolyások medre nem jelent meg. A mederre számolt kockázatból eredendő hibákat a prioritási listánkban javítottuk a felülvizsgálat során. Egy vízfolyás abban az esetben kerül a kockázat szerinti prioritási listára, amennyiben az a feltétel teljesül, hogy a prioritási listában szereplő vízfolyások összegzett kockázata az országos összes kockázat 80%-a. A jelen állapot szerinti kockázati prioritási listán 28 db kisvízfolyás szerepel. Vizsgálataink alapján ezeken a vízfolyásokon célszerű első sorban intézkedéseket tervezni.

A kisvízfolyások összes kockázata eléri a 11.3 milliárd Ft/évet, amelynek 80%-át a prioritási listán szereplő vízfolyások összegzett kockázata adja.

Sorszám	Vízfolyás neve	VOR kód	Tervezési egység	VIZIG
1.	<b>Ikva-patak</b>	AAB394	Felső-Duna	ÉDUVIZIG
2.	<b>Eger-patak</b>	AAA475	Közép-Tisza	EMVIZIG
3.	<b>Fekete-víz</b>	AAB789	Dráva	DÉDUVIZIG
4.	<b>Gyöngyös-patak</b>	AAA923	Felső-Duna	NYUDUVIZIG
5.	<b>Kapos</b>	AAA117	Alsó-Duna	DEDUVIZIG, KDTVIZIG
6.	<b>Zala</b>	AAB161	Balaton	NYUDUVIZIG
7.	<b>Bódva</b>	AAB755	Közép-Tisza	EMVIZIG
8.	<b>Arany-patak</b>	AAA063	Felső-Duna	NYUDUVIZIG
9.	<b>Gerence-patak</b>	AAA379	Felső-Duna	KDTVIZIG
10.	<b>Rima</b>	AAB205	Közép-Tisza	ÉMVIZIG
11.	<b>Pápai Bakony-ér</b>	AAA175	Felső-Duna	KDTVIZIG
12.	<b>Torna-patak</b>	AAB552	Felső-Duna	KDTVIZIG
13.	<b>Tarnóca-patak</b>	AAA320	Közép-Tisza	ÉMVIZIG
14.	<b>Kerka</b>	AAA487	Dráva	NYUDUVIZIG
15.	<b>Völgységi-patak</b>	AAA238	Alsó-Duna	DEDUVIZIG, KDTVIZIG
16.	<b>Liget-patak</b>	AAA408	Felső-Duna	ÉDUVIZIG
17.	<b>Hangony-patak</b>	AAA732	Közép-Tisza	ÉMVIZIG
18.	<b>Által-ér</b>	AAA206	Felső-Duna	ÉDUVIZIG
19.	<b>Veszprémi-séd</b>	AAA645	Alsó-Duna	KDTVIZIG
20.	<b>Szévíz</b>	AAB700	Balaton	NYUDUVIZIG
21.	<b>Alsó-Válicka</b>	AAB078	Dráva	DEDUVIZIG
22.	<b>Sorok-Perint</b>	AAB210	Felső-Duna	NYUDUVIZIG
23.	<b>Répcse</b>	AAA921	Felső-Duna	NYUDUVIZIG
24.	<b>Vadász-patak</b>	AAA501	Közép-Tisza	EMVIZIG
25.	<b>Tarna</b>	AAA746	Közép-Tisza	EMVIZIG
26.	<b>Szerencs-patak</b>	AAA349	Közép-Tisza	EMVIZIG
27.	<b>Szent-László patak</b>	AB1569	Közép-Duna	KDTVIZIG
28.	<b>Bene-patak</b>	AAA890	Közép-Tisza	EMVIZIG

8. ábra. A kockázati besorolás szerint előállított prioritási lista

## INTÉZKEDÉS TÍPUSOK

A kisvízfolyások szempontjából 4 olyan fő intézkedést határoztunk meg, amelyek hatása elöntsre, veszélyre és kockázatra modellezéssel kimutatható lehet. Ez a 4 intézkedés:

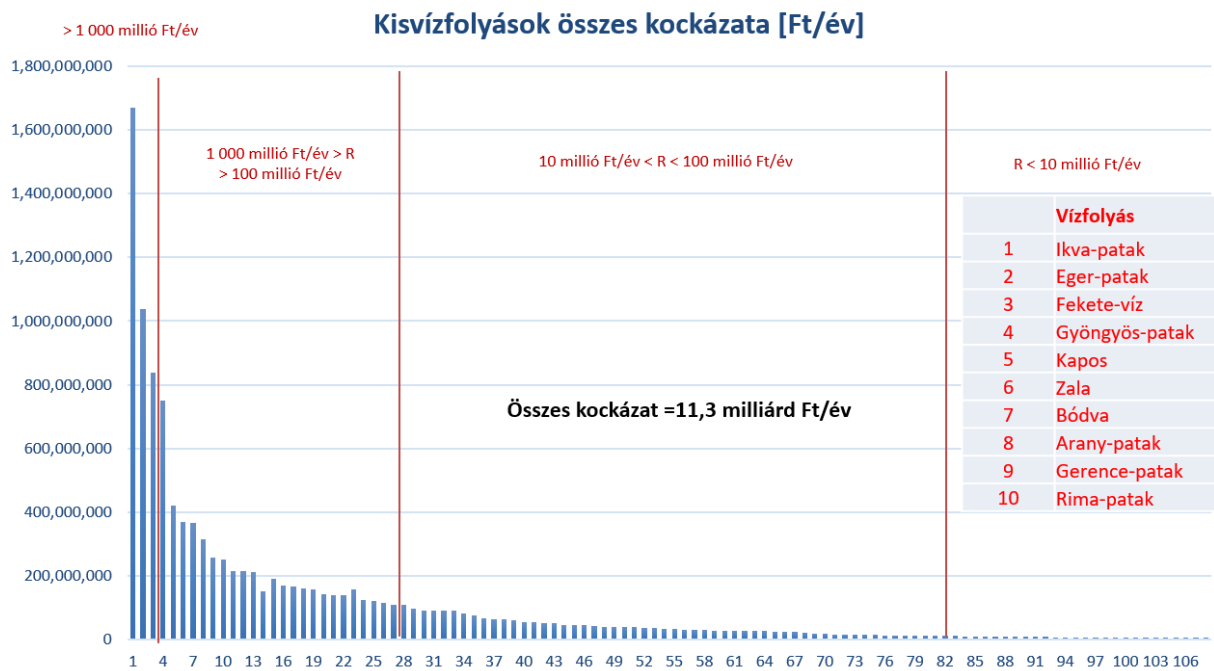
- Tározó beépítés
- Töltés/árvízvédelmi fal építése
- A meglévő meder bővítése
- Részvízgyűjtő szintű fejlesztések, amelyek befolyásolják a vízfolyás terhelő vízhozamát.

A felsorolt intézkedések modellezése minden esetben a használt terep adatok módosításával, vagy a terhelő vízhozam peremfeltételek módosításával kivitelezhető.



Vízfolyás neve	Lefolyási régió	Javasolt kockázatcsökkentő intézkedés megfogalmazása
Ikva-patak	Nyugat-magyarországi	Sopron felett árvízi tározók létesítésével a terhelő vízhozam csökkentésével a vagyoni kockázat csökkenése várható
Eger-patak	Észak-magyarországi	Tározó létesítése Eger -Szarvaskő között, utak, vasutak veszélyeztetése nélküli kialakítással
Fekete-víz	Dél-dunántúli	Vízvisszatartás egy záportározó segítségével az Okorág feletti vízfolyás szakaszon
Gyöngyös-patak	Dél-dunántúli	Kőszeg belterületi mederszakasz bővítése, fejlesztése a vagyoni kockázat csökkentése érdekében, valamint fiktív tározó felvétele, a vízgyűjtő felső részén, csökkentett felvízi vízhozamokkal futtatva a modellt
Kapos	Dél-dunántúli/Közép-dunántúli	Záportározó létesítése a Dombóvár feletti szakaszon
Zala	Nyugat-magyarországi/Közép-dunántúli	Mederszakaszok bővítése árvízi vízszállító képesség növelése, árvízvédelmi töltések/falak létesítése (Zalabér, Pakod, Kemendollár, Alibánfa, Zalaegerszeg, Zalalövő, Óriszentpéter települések)
Bódva	Észak-magyarországi	Meglévő töltések, depóniák fejlesztése, meder vízszállító képességének növelése
Arany-patak	Nyugat-magyarországi	Dozmati tározó figyelembevétele
Gerence-patak	Észak-dunántúli	Vízvisszatartás záportározóval a Vaszar feletti vízfolyás szakaszon
Rima-patak	Észak-magyarországi	Töltésfejlesztés Nagytálya, Maklár és Szilhalom területén vagy záportározó létesítése a Maklár feletti vízfolyás szakaszon

*9. ábra. Minta a javasolt intézkedések összefoglalásának felsorolásából, a prioritási listán szereplő első 10 vízfolyás esetében*



10. ábra. Kisvízfolyások kockázati értékeinek eloszlása

### Intézkedés típusok kockázatcsökkentő hatásának kimutatása modellezéssel

A kisvízfolyások szempontjából 3 olyan intézkedést határoztunk meg, amelyek hatása előntésre, veszélyre és kockázatra modellezéssel kimutatható lehet. Ez a 3 intézkedés a tározó beépítés, töltés/árvízvédelmi fal építése vagy a meglévő meder bővítése. Az említett intézkedések modellezése minden esetben a használt terep adatok módosításával kivitelezhető.

### Tározók

A tározók beépítése összetett feladat. A megfelelő modellezéshez szükségünk van üzemvízszint attribútummal ellátott tározó területre, a töltések, oldalbukók, vészárapasztók 3D adataira, a tározó üzemelési rendjére, pontos műtárgy adatokra valamint egy valós eseményen alapuló árhullám görbére, amihez az input vízhozamokat igazítjuk. Abban az esetben, ha egy tározó előntésre gyakorolt hatását szeretnénk integrálni a modellezésbe, első lépésként a jelen állapotú modell újrafuttatására van szükség az árhullámkép felhasználásával. A tározó hatásának kimutatásához nem használható permanens vízhozam. Amennyiben a létesített tározó a modellterületen kívül található, úgy annak hatását az adott hozzáfolyáshoz tartozó peremfeltétel terhelő vízhozam adatainak változtatásával integráljuk a modellezésbe.

	Adat	Adat tartalma	Adat formátuma	Adat felhasználása
<b>Minimum modellezési adatigény tározók beépítéséhez</b>	Tározó terület	Tározó kiterjedését lefedő polygon üzemvízszint adattal ellátva	Shapefile (Polygon Z vagy Polygon z attribútummal ellátva)	Terep módosítás
	Töltések, oldalbukók, vészárapasztók	Töltések, oldalbukók, vészárapasztók geometriája magassági adattal ellátva	Shapefile (Polyline Z vagy Polyline z attribútummal ellátva)	Terep módosítás
	Műtárgyak	Műtárgy geometria küszöbszint, magasság, szélesség, üzemrend	Shapefile (Point)	Terep módosítás
	Árhullám	Valós eseményhez tartozó vízhozam idősor	Excel	Vízhozam frissítés (permanens vízhozam helyett árhullám)

11. ábra. Minimum modellezési adatigény tározók terep adatba égetéséhez

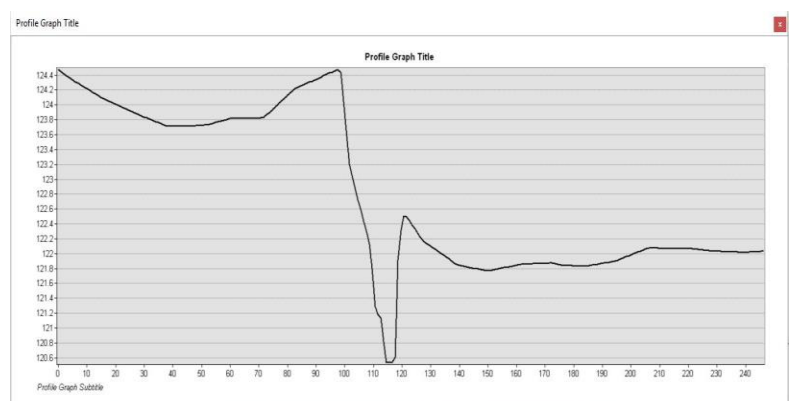
### Töltések és árvízvédelmi falak

A töltésmagasítás illetve új töltés építése jóval könnyebb feladat a tározó beégetésnél. Ebben az esetben egy megadott 3D polyline alapján módosítjuk a terepet így az adott szakaszon a töltéskorona magasabbra kerül, aminek hatására elöntés csak nagyobb vízszint esetén tapasztalható a mentett oldalon.

### Mederbővítés

A harmadik lehetséges intézkedés típus a meglévő meder tározó kapacitásának bővítése. A mederbővítés intézkedés alkalmazása előtt fontos meggyőződnünk arról, hogy a rendelkezésre álló terep raszterbe korábban beégetett meder adat minősége nem kifogásolható-e.

A meder beégetése csak abban az esetben lehetséges, ha rendelkezésünkre áll a megfelelő 3D polyline, ami z értéként a terepszintet tartalmazza (m B.f.) attribútumként pedig megjelöli a vízfolyás szélességét.



12. ábra. Beégetett meder a Babócsai-Rinya vízfolyáson

### Részvízgyűjtő szintű fejlesztések

A modellterületen kívül eső, részvízgyűjtő szintű fejlesztések esetében a terepadatot és a modell geometriáját nem változtatjuk. Ezekben az esetekben az adott intézkedés modell input

vízhozamokra gyakorolt hatásának előzetes kimutatására van szükség. A jelen állapotú modellben az érintett vízhozam peremfeltételeket módosítjuk (csökkentjük a terhelő vízhozamot), így az intézkedés kockázatcsökkentő hatása kimutatható lesz.

### **Megfelelő intézkedések meghatározása**

A végleges kisvízfolyás prioritási listában felsorolt 28 vízfolyáson az emberi élet és vagyonkockázat csökkentése érdekében intézkedési javaslatokat teszünk.

A megfelelő árvízvédelmi intézkedés megfogalmazása érdekében megvizsgáltuk a magas kockázatú területek területi eloszlását és azt is, hogy ezeknek a területeknek a közelében a víz pontosan melyik vízfolyás szakaszon lép ki a mederből. Ezeket a szakaszokat kilépési szakaszoknak nevezzük.

Általában azokon a vízfolyásokon, ahol a magas kockázatú területek elszórva helyezkednek el, vagy a kilépési szakaszok nehezen meghatározhatók a vízvisszatartás jelenthet hosszútávú megoldást az árvíz kockázatok csökkentésére. Ezekre a vízfolyásokon egy belterületi elöntést csökkentő záportároló építése, vagy egy részvízgyűjtő szintű fejlesztési intézkedés is hatékony lehet. Azoknál a vízfolyásoknál azonban, ahol a víz jellemzően egy jól behatárolható rövid szakaszon lép ki a medréről, és önt el nagyobb belterületet a károk enyhítése érdekében hatékonyabb lehet egy árvízvédelmi fal vagy töltés építése.

### **Intézkedési javaslat példa – Eger-patak**

A modell alapján elmondható, hogy a meder környezetében a domborzat túlnyomórészt nyílt, ugyanis az elöntés területi kiterjedése nagymértékben növekszik a különböző valószínűségű események esetében. Nyílt domborzat esetén fenn áll a veszély, hogy a mederből kilépő víz egy lokális magaspontra meghágva nagyobb területet elönt, ezért ezeken a területeken, árvíz esetén szükség lehet komolyabb védekezésre.

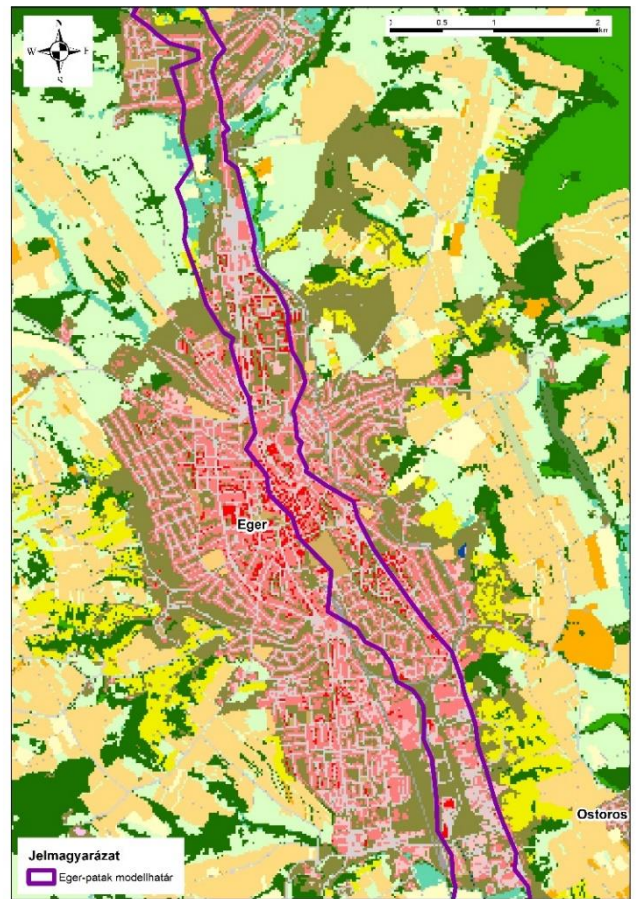
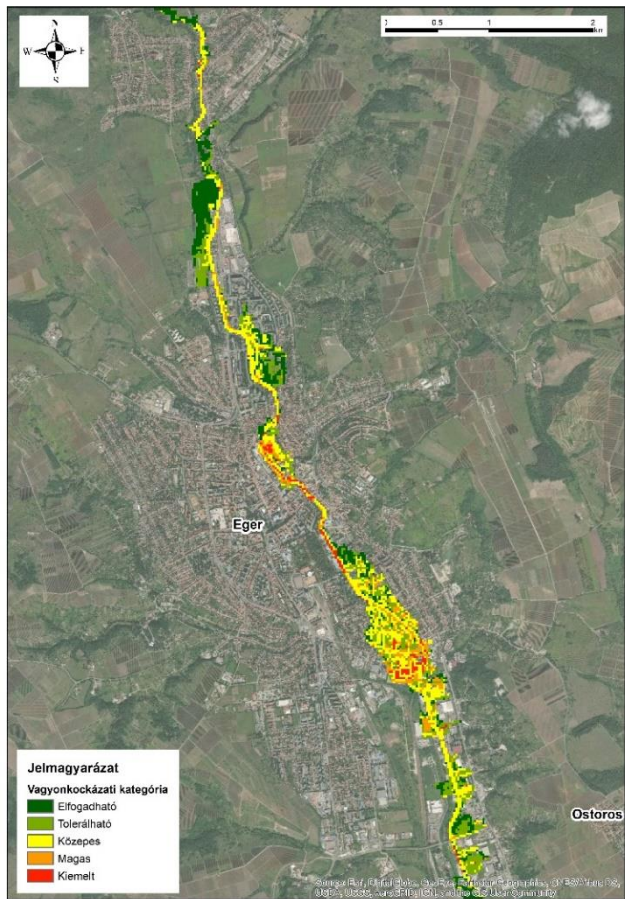


*13. ábra. Vasbeton falak az Eger-patak mentén (Eger)*

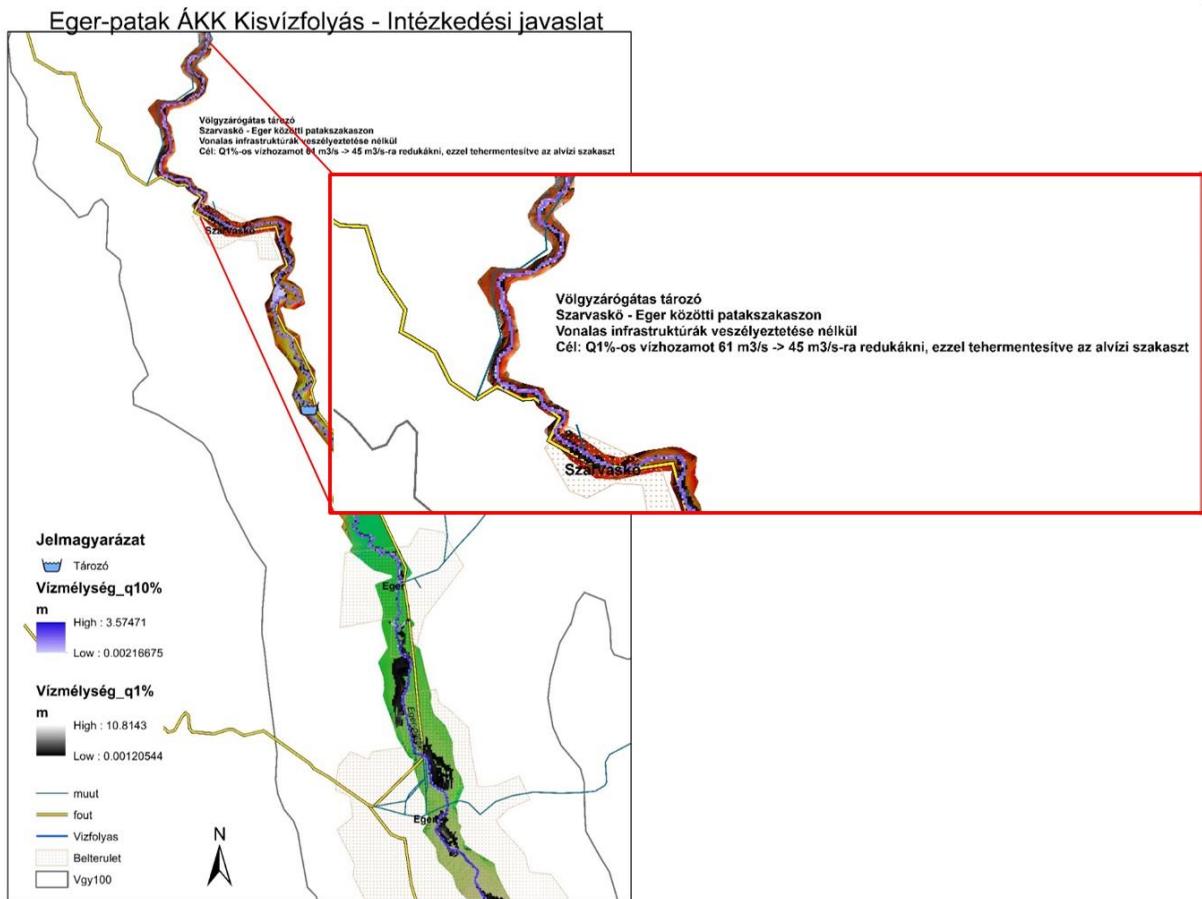
Az Eger-patak éves kockázata kb. 1,04 milliárd Forint, amelynek döntő része Eger és Andornaktálya települések belterületi elöntésből származik. A rászter cellákra eső átlagos kockázat 83 091 Ft/év, a legmagasabb kockázat 37 494 092 Ft/év. Az egy főre eső becsült kockázat kb. 41 ezer Ft évente.

Az Eger-patak vízfolyáson első sorban azt javasoljuk, hogy az Eger belterületén található vízmozgást befolyásoló vasbeton falak adatai kerüljenek felmérésre, így javítva a jelen állapotú modellezés pontosságán. Amennyiben az árvíz kockázat ezek után is kiemelkedően magas marad, úgy javasoljuk, hogy Eger belterület fölötti nagy terhelő vízhozamokat tározó létesítéssel vagy egyéb részvízgyűjtő szintű fejlesztéssel csillapítsák. A vízfolyás 18+160 szelvényére számolt vízhozamok lényeges csökkentésével elkerülhető a nagy területű belterület érintettség, így az árvíz kockázatok is jelentősen csökkenthetők.

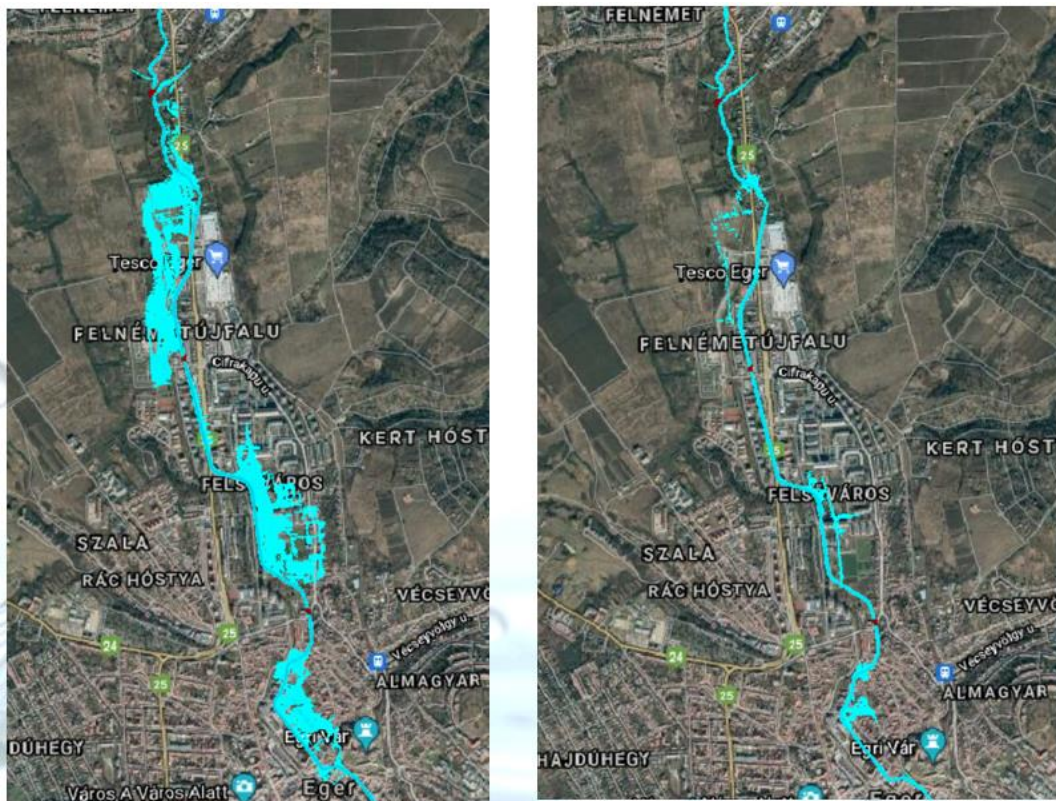




14. ábra. Magas vagyonkockázatú területek az Eger-patak mentén



15. ábra. Eger-patak intézkedési javaslatának vázlata



16. ábra. Eger belterületi elöntési térképe intézkedés előtt és után

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az egész ország területén összesen 118 kisvízfolyásra készült előntés, veszély- és kockázati térképezés. Az előntései eredményeket HEC-RAS 2D modellek futtatásával, a veszély- és kockázati eredményrasztereket pedig az ÁKIR alkalmazás felhasználásával hoztuk létre. A kisvízfolyásonként készített önálló hidraulikai modellek peremfeltételeihez tartozó terhelő vízhozamok az „Árvízi Kockázat Kezelés Hidrológiai Alapjai – Kisvízfolyások” hidrológiai tanulmányban megfogalmazott módszer alapján kerültek meghatározásra.

A vízrajzi idősorokkal nem rendelkező kisvízfolyások esetében a szegmens határokra vonatkozóan a  $Q_{1\%}$ ,  $Q_{3\%}$ ,  $Q_{10\%}$  valószínűségekre a Koris-féle árvízszámítási segédlet felhasználásával, illetve az érintett VIZIG által megadott adatok alapján készültek a hidrológiai statisztikai számítások.

Az egyes kisvízfolyások kijelölt szakaszaira a 2D modellezés eredményeként elkészültek az előntési térképek, amelyek megmutatják, hogy mely területeket veszélyeztet az adott valószínűségű terhelő vízhozamból adódó előntés, illetve azt, hogy azokból milyen vízmélységek alakulnak ki a területen.

A jelen állapotú modellek előntési eredményei a jövőben nagymértékben pontosíthatók, azonban ehhez elsősorban a térinformatikai és hidrológiai alapadat állományok bővítésére van szükség. A továbbiakban figyelmet kell fordítani arra, hogy a vízfolyások mentén kialakított záportározók és műtárgyak be legyenek építve a modellbe. Ebben a legnagyobb nehézséget a megfelelő minőségű alapadatok hiánya okozza. További nehézséget okoz, hogy a tározók hatásának kimutatása nem kivitelezhető a jelenleg alkalmazott kvázi permanens modellezéssel. Ezt a problémát jelenleg legtöbb esetben a modellek, a tározók szelvényeiben való elvágásával oldottuk meg, azonban a későbbiekben megfelelő alapadatok ismeretében árhullámok modellezésére is sor kerülhet.

A kockázatszámítás módszertana függ a területhasználatától, a fajlagos vagyoneértékektől, a kárfüggvényektől és a terheléstől. A kisvízfolyások esetében a terhelést a vízmélység és a vízsebesség szorzata adja.

A modellezés területi egysége a cella, melynek optimális méretét a modellező választja meg. A kisvízfolyások veszélytérképi modellezéséhez 1x1 méteres cellákat, a kockázatszámításhoz 10\*10 méteres cellákat használtunk. Az árhullámok előfordulási valószínűsége és hozzá tartozó előntési képek jellemző eseményeinek modellezése adja az alap információt. Ezt követően a kockázatszámítás a veszélyeztetett területre számítjuk az éves átlagos várható kárt. A kockázatszámítást és kockázati térképezést elkészítettük a vizsgált 108 kisvízfolyásra, részletes értékelést a kiemelt kisvízfolyásokra készítettünk, ahol az eredmények alapján megállapítható volt a magas kockázat.

A részletes értékelés eredményeként előállt egy prioritási lista, amin az összegzett országos kockázat 80%-át kitevő kockázatos vízfolyások szerepelnek. Intézkedési javaslatok ezekre a vízfolyásokra készültek. Jelen vizsgálat részeként a kisvízfolyások intézkedési javaslatai közül számos esetben modellezéssel támasztottuk alá a beavatkozás várható eredményét