

# A KOCKÁZAT ALAPÚ TERVEZÉS ALKALMAZOTT METODIKÁJA VÉDETT ÁRTEREKNÉL

Horkai András

szakértő

## KIVONAT

Az EU Árvízi Irányelv követelményeinek megfelelően a 2008-2015. évi időszakban elkészültek az ország első veszély- és kockázati térképei, valamint az első stratégiai szintű tervezési változatok. Jelenleg ezek első felülvizsgálata zajlott le, melynek során lényeges metodikai elemek is megváltoztak. Az anyag már az új elemeket ismerteti.

Meghatározza, értelmezi az anyagban használt főbb fogalmakat, aminek ebben az esetben különös jelentősége van a mindennapi szóhasználattól eltérő, pontosított értelmezések miatt.

Bemutatja a jelen és a tervezett állapot általános meghatározásának lépéseit, valamint az optimális tervváltozat lényegét.

A jelen állapotnál részletesen ismerteti a védvonalak ellenállásának, terhelésének és a tönkremenetelnek figyelembe vett modelljeit. Bemutatja az előntési valószínűségek és vagyoni kockázatok becslési módját.

A tervezés általános részeként ismerteti a terhelés változásától függő költség- és kockázatfüggvények meghatározásának módját. Példát ad az optimálisnak tekinthető tervváltozat céljára és feltételrendszerére.

## KULCSSZAVAK

árvízi előntés, előntési kockázat, előntési veszély, előntési veszélytérkép, előntési kockázati térkép, előntési valószínűség

## 1. PROBLÉMA FELVETÉS

A cikk a Magyarországon – a védett ártereknél – országosan alkalmazott árvíz-kockázat-kezelés metodikai elemeit foglalja össze. Szerző a tárgykörben 2008. óta folytatott vizsgálatok, feldolgozások szakmai irányítója, a metodikai elemek jelentős részének kidolgozója.

A tervezés a mindig bizonytalan jövőről szól. Figyelembe véve a tervezett művet érő várható hatásokat - különböző megfontolások alapján - meghatározzuk a terhelés mértékadó értékét és erre méretezzük a művet. Árvízvédelmi rendszer esetén kiemelt jelentőségű a védvonalat érő árhullám terhelése. Méretezési paraméterként a várható árhullám tetőzési értékét tekintjük és ennek a jövőbeli bizonytalanságát kell kezelnünk. A bizonytalanság kezelése alapvetően három jellemző módon történik a mértékadó (méretezési) érték meghatározása szempontjából:

- a) a korábban észlelt maximális értéket választjuk (általában akkor, ha kevés az észlelésünk)
- b) egy visszatérési időből levezetett túllépési valószínűséghez kötjük az értéket, ami az emberi élethosszhoz viszonyított biztonságérzeten alapszik
- c) olyan túllépési valószínűséghez kötjük az értéket, melynél figyelembe vesszük a különböző méretezési értékeknél várható hatásokat.

Ha a fenti elveket országosan értelmezzük, akkor az a) és b) szerint mindenütt csak az árhullám terhelések alapján döntünk. A c) elv szerint viszont a különböző területi hatások (kockázati értékek) figyelembevételével keressük a mértékadó értéket.

A témakört korábban átfogóan kezelték a [1., 2. és 4.] anyagokban.

## 2. ALAPFOGALMAK [4.]

Feltétlenül szükségesnek látom, hogy néhány – az anyagban használt fogalom – pontos itteni értelmezését közöljem, mivel a hétköznapi szóhasználatban több, különböző értelmezés előfordul. A közölt alapfogalmak az árvízi kockázatkezelés más szakterületeire (pl. kisvízfolyásoknál) is érvényesek.

*Elöntési esemény* – Egy adott területrészen jelentkező folyamatos vízborítás, melynek létezik kezdő és záró időpontja.

*Elöntési eseményt leíró paraméterek* – az *Elöntési eseményt* a következő paraméterekkel jellemezzük:

- a folyamatos vízborítás időtartama alatt jelentkező maximális vízmélység (H)
- a folyamatos vízborítás időtartama alatt jelentkező maximális abszolút értékű vízsebesség (V vektor)
- a folyamatos vízborítás időtartama (T).

*Elöntési esemény kategóriák* – az *Elöntési eseményt leíró paraméterek* meghatározott tartományai

*Elöntési esemény időhorizontja* – az az időegység, amelyen belül az elöntési esemény bekövetkezési valószínűségét becsüljük. Az anyagban  $\sim$ -t 1 évnek tekintjük.

*Tervezés időhorizontja* – az az időszak, amelyen belül a kockázat kezelési tervezésnél a kockázatot befolyásoló tényezők állandó, vagy változó hatását értékeljük. Az anyagban  $\sim$ -t 30 évnek tekintjük.

*Elöntési veszély* – *Elöntési esemény* jelentkezésének lehetősége. Mértéke: az esemény bekövetkezésének valószínűsége az *Elöntési esemény időhorizontján* belül.

*Elöntési veszélytérkép* – Az *Elöntési veszély* területi eloszlását tartalmazó adatállomány. A területi eloszlást négyzetes rácshálón értelmezzük.

*Elöntési kockázati térkép* – Az *Elöntési kockázat* területi eloszlását tartalmazó adatállomány. A területi eloszlást négyzetes rácshálón értelmezzük.

*Elöntési zónatérkép* – meghatározott elöntési esemény kategóriák területi eloszlását bemutató megjelenítés (pl. az elöntési vízmélység tartományok területi eloszlása)

*Terület használat* – a földfelszín adott részén jelentkező jellemző emberi tevékenység illetve természetes élőhely csoport.

*Elöntési hatás* – az *Elöntési esemény* értékelhető következménye. Az  $\sim$ -okat a következő szempontok szerint értékeljük:

- gazdasági
- emberi élet- és egészségvédelmi
- ökológiai
- kulturális örökségvédelmi.

*Elöntési hatásfüggvény* – az *Elöntési esemény* a *Terület használat* és az *Elöntési hatás* mértéke közötti kapcsolatot leíró összefüggés

*Elöntési kockázat* – Az *Elöntési esemény* bekövetkezéséből - adott szempont szerint – származó kockázat alatt az *Elöntési hatás* várható értékét értjük:  $KOCKÁZAT = \sum (ESEMÉNY VALÓSZÍNŰSÉG_i * ESEMÉNYKÁR_i)$ , ahol

i – az esemény kategória jele

$ESEMÉNY VALÓSZÍNŰSÉG_i$  – annak valószínűsége, hogy az elöntési esemény az i-edik kategóriába esik

ESEMÉNYKÁR<sub>i</sub> – az i-edik elöntési esemény kategóriához rendelhető, adott Terület *használatától* függő hatás mértéke, melyet az *Elöntési hatásfüggvény* határoz meg (pl. 0,5 – 1 m közötti elöntési mélység esetén, lakott területen, az egyszeri elöntésből származó gazdasági kár Ft-ban)

### 3. A KOCKÁZAT ALAPÚ TERVEZÉS METODIKAI ALAPJA

Célunk: az elöntési kockázatok és védelmi költségek figyelembevételével optimális fejlesztési szintek meghatározása.

A probléma kezelése három fő lépésben történik:

- a jelen állapotot jellemző paraméterek meghatározása
- a tervezett állapotot jellemző paraméterek általános meghatározása, valamint
- az optimális tervezési állapot meghatározása.

A célnak megfelelően a következő folyamat modellezésére épült a metodika.

A jelen állapotot jellemző paraméterek meghatározása:

- határozzuk meg az azonos védelmi funkciójú védvonalakat
- határozzuk meg ezek védelmi ellenállását
- határozzuk meg a terhelő árhullámok jellemző paramétereit
- az ellenállások és terhelések összevetése alapján határozzuk meg a védvonalak mentén a tönkremeneteli valószínűségeket
- jelöljük ki a védvonalak mentén feltételezett szakadási helyeket
- készítsünk becslést a szakadási helyeken kiömlő víztömegre vízhozam idősor formájában
- végezzük el a vízhozam idősorok alapján a veszélyeztetett területen az elöntés hidraulikai szimulációját
- az elöntési eredmények és a kiömléshez kapcsolódó valószínűségi értékek alapján határozzuk meg az egyes területrészeken az elöntési események valószínűségét
- határozzuk meg a veszélyeztetett területrészek területhasználati adatait
- készítsük el az egyes területhasználatok elöntési kárfüggvényeit
- határozzuk meg az elöntési káresemények és valószínűségek alapján a területrészeken, illetve a teljes veszélyeztetett területen jelentkező kockázatokat.

A tervezett állapotot jellemző paraméterek általános meghatározása:

- határozzuk meg a tervezett állapotot jellemző védelmi ellenállási szinteket
- hajtsuk végre a jelen állapotnál ismertett lépéseket a tervezett ellenállási szintekre.

Az optimális tervezési állapot meghatározása:

- határozzuk meg a különböző tervezési állapotokhoz tartozó költség- és kockázat függvényeket
- határozzuk meg az optimális változat keresésének célfüggvényét és feltételrendszerét
- a kereső algoritmus segítségével kapjuk meg a kitűzött célnak megfelelő kiépítési változatot.

#### 3.1 A jelen állapot meghatározása

##### 3.101 Azonos védelmi funkciójú védvonalak

A folyók árvízi elöntései által veszélyeztetett, illetve védvonalak által védett területek azonosítása a kockázat alapú tervezés egyik kulcseleme. Ezek bizonyos szempontok által meghatározott egységeit ártéri öblözeteknek nevezzük. A területi lehatárolások az 1970-es

években történtek [3.], alapvetően hidraulikai megfontolások alapján, természetesen az akkori tudományos ismeretek és technikai lehetőségek szerint. A létrejött egységek alapján a felosztás legjellemzőbb ismérve: az öblözetet védő védvonalakon bekövetkező töltésszakadás esetén az elöntés csak az öblözet területét veszélyezteti. Az utóbbi, mintegy 10 évben végzett részletes 2D elöntési vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a határok bizonyos esetekben

- túl szűkek, azaz öblözetten kívüli területek is veszélyeztetettek, más esetekben pedig
- túl tágak, azaz az öblözetten belül bizonyos területek katasztrofálisnak tekintett árvizek esetén sem kerülhetnek elöntés alá.

A metodika kialakításánál jelentkezett az a felismerés, hogy nagyobb öblözetek esetén, különböző folyók, mellékfolyók elöntései más-más területeket veszélyeztetnek, természetesen eltérő árhullám jellemzők mellett. Ez azt jelenti, hogy az itt létesített védvonalak védelmi funkciója eltérő, s a kiépítésükkel kapcsolatos kockázati hatások mások. A felismerés nyomán vizsgálataink egységei nem a jelenlegi öblözeti határokhoz kapcsolódó, hanem az azonos védelmi funkciójú védvonalakra irányultak. Ezeket a védvonal csoportokat tehát az alábbi két fő szempont szerint határoztuk meg:

- a védvonalakon jelentkező árhullám terhelési jellemzők (tetőzési valószínűségek, jellemző árhullám alak) azonosak, vagy
- a védvonalak kiemelt értékeket védenek (pl. települési körtöltéshez kapcsolódnak).

### **3.102 A védvonal ellenállás**

A védvonal tönkremeneteléről akkor beszélünk, ha terhelése meghaladja ellenállását. A reláció vizsgálatához mindkét értéket azonos egységben kell értelmeznünk. A terhelést jellemzően vízszintben fejezzük ki, ezért az ellenállási értékeket is ebben az egységben kezeljük.

#### **3.1021 A védvonal saját ellenállása**

A védvonal saját ellenállása alatt, egy adott töltésszelvényben, azt a vízszintet értjük, melynek meghaladása esetén – védekezési beavatkozások nélkül – tönkremenetel következhet be. Két fő szempont szerint kezeljük a kérdést:

- a/ a keresztmetszet geometriai és szerkezeti, valamint
- b/ a vizsgálat idején érvényes állapot jellemzői

figyelembevételével.

A védvonalat ellenállási szempontból azonos viselkedésűnek tekinthető alszakaszokra bontjuk és a továbbiakban az ellenállási szinteket az alszakasz középszelvényében értelmezzük.

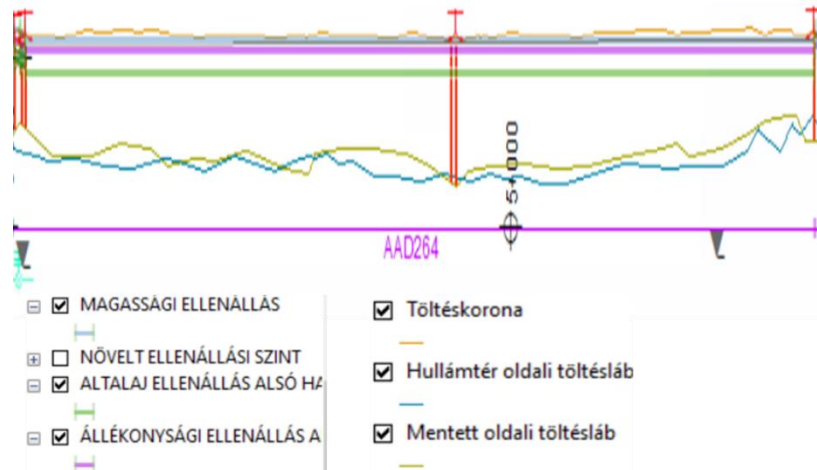
*a) esetben*

- magassági
- töltésállékonysági, illetve
- altalaj állékonysági

ellenállási szinteket határozzuk meg.

A magassági ellenállást a mértékadó árvízszint (MÁSZ) és a töltéskorona különbsége alapján – annak legnagyobb értéke szerint (ahol relatíve legalacsonyabb a koronaszint) – határozzuk meg.

A töltés, illetve altalaj állékonysági szinteket a védekezési tapasztalatok alapján olyan értékekkel azonosítjuk, melyeknél védekezési intézkedéseket alkalmaztak és hasonló esetben ezek továbbra is szükségessé válhatnak.



1. ábra. A védvonal ellenállások egy azonos viselkedésű alszakaszon

b) esetben az alábbi szempontok szerint módosítjuk az a)-nál megállapított szinteket:

- Hullámverésre veszélyes helyek
- Műtárgy állapota
- Egyéb állapotjellemzők.

Pontozásos értékelési eljárással egy 0.4 – 1 közötti értéket adó állapot biztonsági tényezőt képezünk, mely az alszakasz átlagos töltésmagassága függvényében csökkenti a korábbi ellenállási szinteket.

Az alábbi két szempont szerint képezzük az alszakaszokat:

- minden műtárgy 50 m-es környezetében, illetve
- ha a MÁSZ – töltéskorona szint ingadozása meghaladná a 60 cm-t.

### 3.1022 A vonalmenti védekezés figyelembevétele

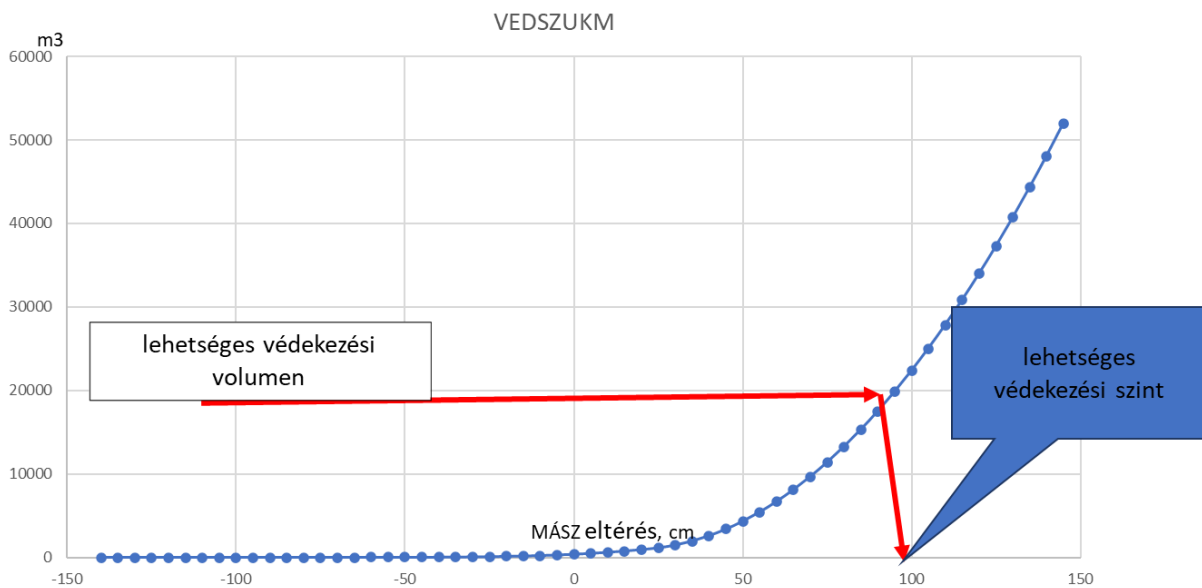
Árvédelmi rendszerünk igen fontos része a védekezés, amely még rendkívüli árvízi terheléseknél is képes volt megakadályozni az elöntési katasztrófákat. E tevékenység szerepét nem hagyhatjuk figyelmen kívül sem a védett területek veszély- és kockázati helyzetének értékelésénél, sem a fejlesztések tervezésekor. Rendkívüli helyzetek fejlesztéssel történő kezelése esetenként irreális terheket róna a nemzetgazdaságra, ugyanakkor az esemény alacsony valószínűsége miatt a felmerülő védekezési költségek jelentkezése racionálisan elfogadható.

A védekezéssel a védvonal saját ellenállási szintjeit (lásd előző pont) emeljük. Metodikánk lényege a fővédvonal szakaszon szükséges és lehetséges védekezési volumen összevetésén alapszik.

A szükséges védekezési volument a MÁSZ-hoz viszonyított szintek függvényében a fővédvonalon jelentkező kiépítési hiányok alapján határozzuk meg. A függvény tehát magasabb szintekhez egyre nagyobb volument rendel.

A lehetséges volument alapvetően a rendelkezésre álló időelőny függvényében határozzuk meg.

A fővédvonal szakaszon a védekezéssel kivédhető szintet ott kapjuk, ahol a szükséges eléri a lehetséges volument:



2. ábra. A lehetséges védekezési szint meghatározása

### 3.1023 A tározós védekezés figyelembevétele

Az árvízvédelmi szükségtározókat a védekezés egyik lehetséges eszközének tekintjük. A tározók, illetve üzemirányításuk tervezésekor [6.] készült hidraulikai szimulációk alapján készítettünk hatás hossz-szelvényeket. A hatásokat sávban értelmezzük és minimális, maximális és átlagos értékekkel kezeljük. A hatások szerint emeljük az érintett alszakaszokon az ellenállási szinteket.

### 3.103 A védvonal terhelése

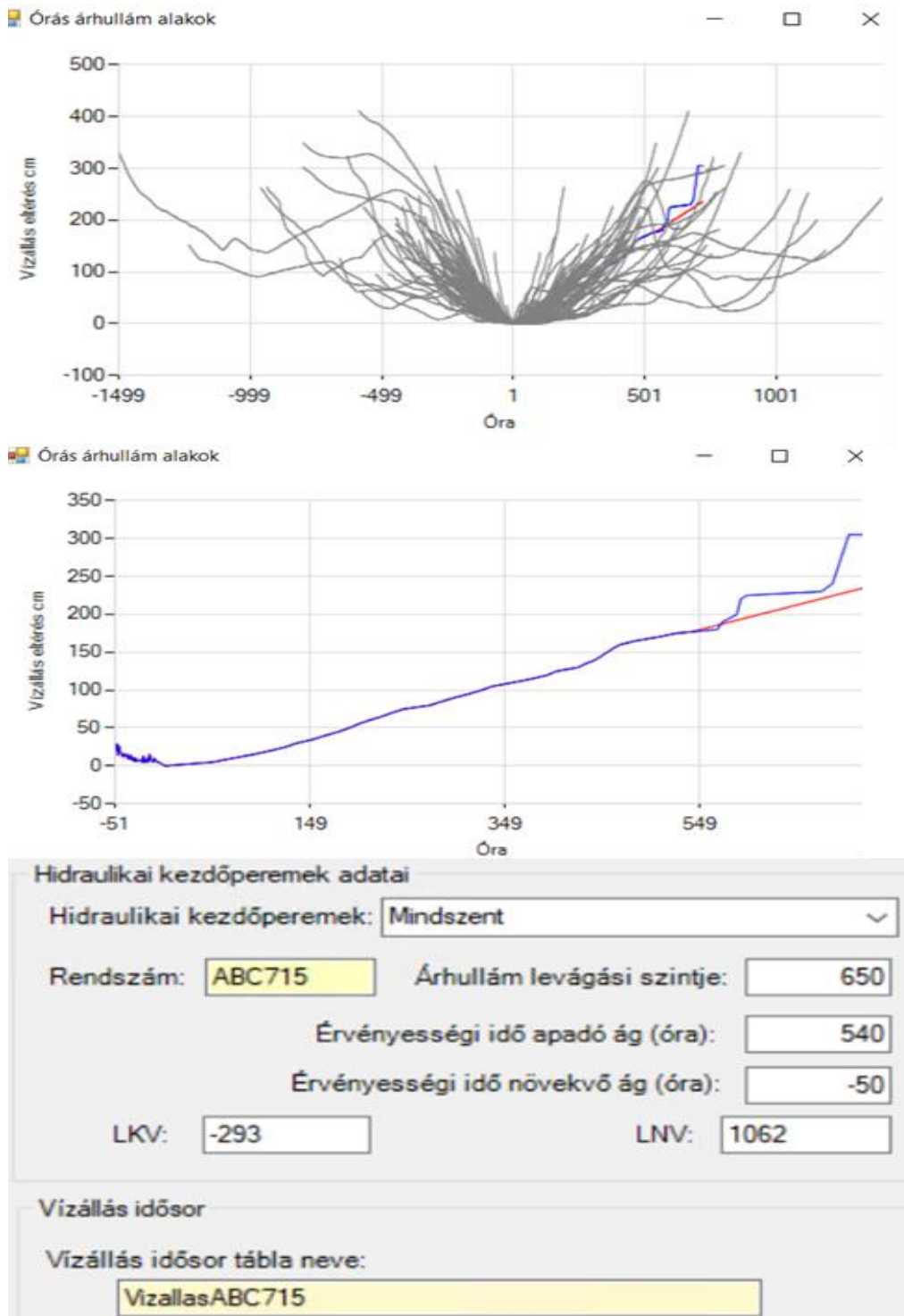
Az azonos védelmi funkciójú védvonalak kiválasztásának elsődleges szempontja az azonosnak tekinthető terhelés. A terhelést a lehetséges tönkremeneteli események szempontjából vizsgáljuk, azaz amikor a terhelés > ellenállás reláció fennáll. A vizsgálathoz a terhelést is az ellenállással azonos dimenzióban kell értelmeznünk, ami az adott szelvényben (azonos alszakasz jellemző szelvényében) várható árhullám tetőző szintje (ennél a szintnél tételezzük fel a tönkremenetelt). Ezt az értéket alapvetően a természet generálja és igen széles tartományban változhat, s emiatt mindenképpen indokolt valószínűségi változóként kezelnünk. A terhelési valószínűségek becsléséhez az éves nagyvizek értékeit választottuk mintának.

További vizsgálatainkhoz szükség van a tönkremenetelkor várható kiömlés becslésére (lásd 3.105 pont) is. Becslési eljárásunkban döntő szerepe van a tetőző szinthez kapcsolható jellemző árhullám alak kétféle leírására

- a vízszintek ( $H(t)$ ) (6. ábra) és a
- a vízhozamok ( $Q(t)$ ) időbeli lefutásának jellemzésére.

Az árhullám idősorok statisztikai elemzése alapján képezünk olyan idősort, amelynek alaki jellemzőit minden tetőzősi szintnél alkalmazzuk. Eljárásunk rendkívül nagy vitákat váltott ki a sok felmerülő bizonytalansági tényező miatt, de arra kell gondolnunk, hogy az eljárás célja, az adott tetőzésnél várhatóan érkező víztömeg becslése. Tudatában vagyunk a  $Q$ - $H$  összefüggések bizonytalanságainak, azonban esetünkben nem konkrét, szélsőséges esetekkel kell foglalkoznunk, hanem a szintet jellemzőkkel (ami alapvetően úgy néz ki, hogy magasabb

tetőzésnél jellemzően több víz érkezik. Ez a visszaduzzasztott szakaszokra is igaz, ami a főfolyókon észlelt adatok statisztikai elemzéséből látható.).



3. ábra. Árhullám alak statisztikai generálása

A tönkremeneteli reláció adott helyen – a terheléstől függően – nagy tartományban teljesülhet, s a különböző esetekhez nagyon eltérő előntési hatások tartozhatnak. Az elméleti várható hatásértéket annál jobban közelítjük, minél több szakaszon vizsgáljuk a lehetséges tartományt. Egy-egy esemény előntés szimulációja azonban sokszor rendkívül időigényes (15-

20 óra is lehet), ezért a tönkremeneteli tartományt 3 részre bontva 3 szinthez tartozó értékkel vizsgáljuk:

T1 terhelési szint – a legalacsonyabb állékonysági ellenállás szintje

T2 terhelési szint – a magassági ellenállás szintje

T3 terhelési szint – a 0.001 túllépési valószínűséghez tartozó tetőzési szint.

### 3.104 Feltételezett szakadási helyek

Vizsgálatunk műszaki alapeleme az azonos viselkedésű alszakasz, itt vizsgáljuk a tönkremeneteli reláció teljesülését. Mivel alszakaszon belül az ellenállást azonosnak tekintjük, a tönkremeneteli esemény bárhol bekövetkezhet. Azon a helyen jelöljük ki a szakadás lehetőségét, ahol eljárásunk szerint a legtöbb kiömlő víz várható, azaz, ahol a töltéskorona és a mentettoldali töltésláb szintkülönbsége a legnagyobb.

Minden alszakaszon jelölünk ki szakadási helyet, de nem mindegyiknél végzünk előntés szimulációt (egymáshoz közel nem, de 8-10 km-enként mindenképpen szükséges a hidraulikai vizsgálat).

### 3.105 Kiömlő víztömegek becslése

A kiömlő víztömeg becslés a kockázatszámítás egyik kulcs eleme. Ennek mértéke határozza meg a veszélyeztetett terület és vagyon nagyságát, valamint az előntési mélységek a keletkező kár mértékét.

A becslés metodikájához két fő irány kínálkozik:

- a folyóbeli levonulás, a kiömlés és a terepi előntés folyamatának egy modellrendszerben, illetve
- az említett részfolyamatok szétválasztott kezelése.

Mi az utóbbi megközelítést választottuk, mivel az együttes kezelésnél a részfolyamatoknál jelentkező bizonytalanságok automatikusan halmozódnak, s végül teljesen elfogadhatatlan eredményre vezethetnek, míg az egyes részfolyamatok eredményeit jobban kontrollálhatjuk.

A kiömlés folyamatát a bukóképlettel írjuk le az alábbiak szerint:

$$Q = \mu \cdot B_2 \cdot (HSZ' - HLÁB)^{3/2}, \text{ ha } HT < HLÁB, \text{ egyébként} \quad (1)$$

$$Q = \mu \cdot B_2 \cdot (HSZ' - HT)^{3/2} \quad (2)$$

ahol

$\mu$  - átbukási tényező, amelyet 1-nek veszünk, tekintettel az egyéb tényezőkben rejlő bizonytalanságokra

$B_2$  – a szakadási nyílás mérete

$HSZ'$  – a folyóban kialakuló vízszint (felvízszint)

$HLÁB$  – a mentett oldali töltésláb szintje

$HT$  – a terepi oldalon kialakuló alvízszint.

A szakadás hatására kialakuló felvízszintet az alábbi apriori becsléssel számítjuk (a levezetést mellőzzük):



$$HSZ' = H * \left\{ \frac{0.3 * B1}{\left( 0.3 * B1 + (1 - b)^{\frac{3}{2}} * B2 \right)} \right\}^{2/3} \quad (4)$$

ahol

H;HSZ' – folyóbeli vízmélység szakadás nélkül, illetve szakadásnál, m

H0 - folyóbeli induló vízmélység, m

B1;B2 – meder (hullámtér), illetve szakadási nyílás szélessége, m

a – folyó vízmélység többlete a szakadáshoz képest, m

b= a/H0.

A terepi elöntés hatására kialakuló HT alvízszintet az öblözet tározási görbéje alapján becsüljük.

A hullámtér szélességét jellemző tényezőt az alábbi összefüggéssel képezzük:

$$B1 = 0.2 * NQ1EZR, \quad (5)$$

ahol

NQ1EZR – a T3 terhelési szinthez rendelt vízhozam

A szakadási nyílás szélességét a

$$B2 = (9 * (TOLTESMAG) * NQ1EZR)^{0.4} \quad (6)$$

összefüggéssel írjuk le, ahol

TOLTESMAG – töltésmagasság a szakadási nyílásnál, m (töltéskorona – mentettoldali töltésláb).

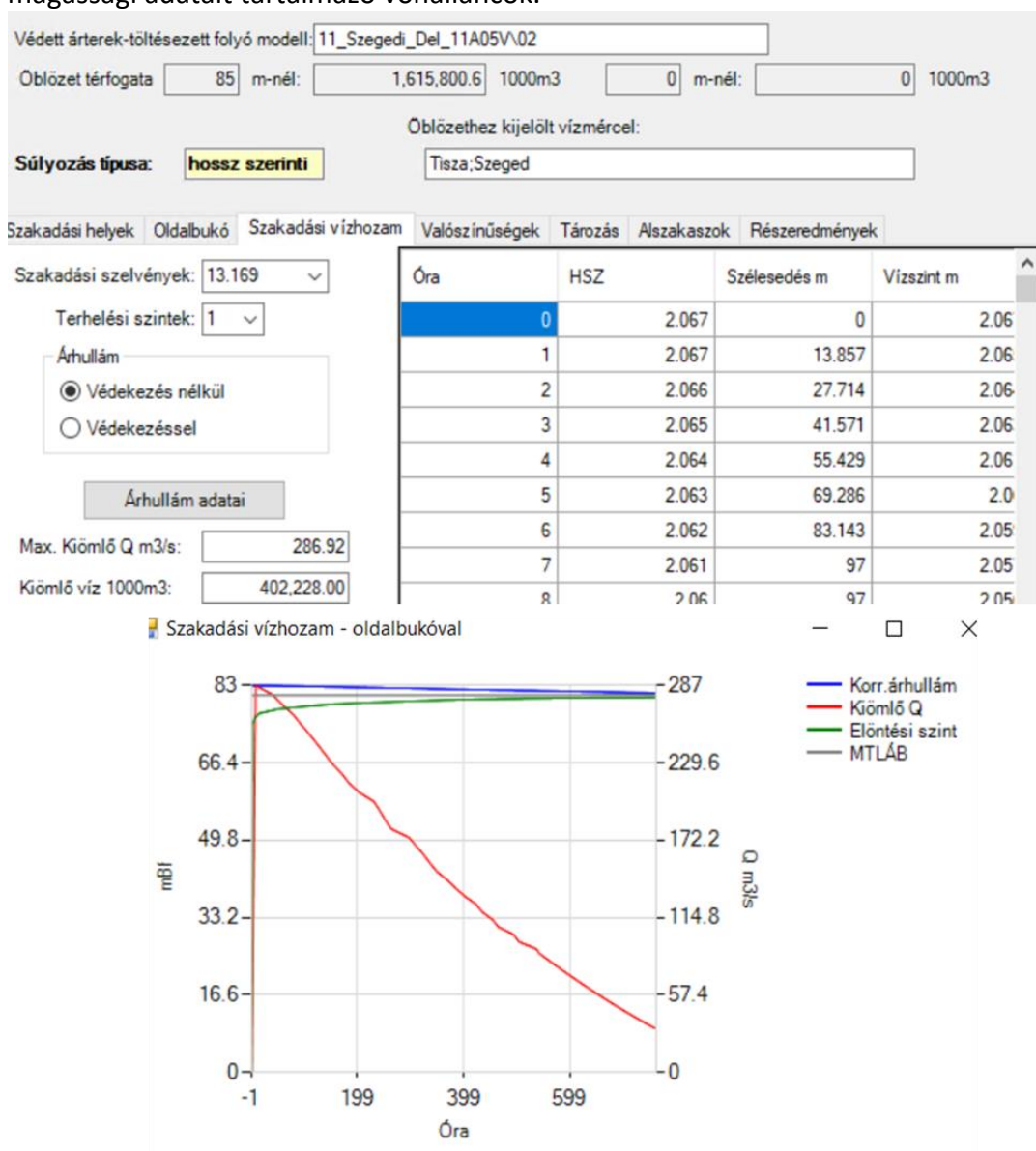
A feladat tehát az, hogy a 3.103 pontban ismertetett három terhelési szinttel osztott tartományokhoz rendeljünk egy-egy „jellemező”, várható kiömlő víztömeget (vízhozam idősort). A hagyományos mérnöki gondolkodás számára az egyik legnehezebben „emészthető” a „jellemező” és a „mértékadó” fogalom megkülönböztetése. Az utóbbinál rögtön a szélsőséges esetekre gondolunk, míg az előbbinél ezeknek nincs szerepük. Azt kell mérlegelnünk, hogy ha az árhullám tetőző szintje egy bizonyos tartományba esik (pl. [T1;T2], ennek valószínűsége legyen PT12), akkor milyen víztömeget tudjuk a legjobban jellemezni a lehetséges értékeket. A fenti összefüggések alapján az egyes terhelési szintekhez előállított **H(t)** árhullámkép alapján állítjuk elő a terepre kiömlő **Q(t)** idősort.

### 3.106 A területi elöntés szimulációja

A terepi elöntés hidraulikai szimulációjának részletes leírásával a [8.] foglalkozik. Az alkalmazott HECRAS 2D program adott szakadási hely és terhelési szint mellett az alábbi fő bemeneti adatokkal indul:

- az elöntési tartomány (rész/öblözet) határoló poligonja
- a szakadási nyílás vonala a határon
- a nyíláson kiömlő Q(t) idősor
- az elöntési tartomány digitális domborzati modellje (DDM)

- az elöntési tartomány területén lévő főbb vízterelő objektumok (utak, vasutak) magassági adatait tartalmazó vonalláncok.



4. ábra. Kiömlő vízhozam becslése

Kimenetként a szimuláció folyamán a területi cellákon kialakuló maximális vízmélységek raszter állományát kapjuk (HMAXk).

### 3.106 A területi elöntés szimulációja

A terepi elöntés hidraulikai szimulációjának részletes leírásával a [8.] foglalkozik. Az alkalmazott HECRAS 2D program adott szakadási hely és terhelési szint mellett az alábbi fő bemeneti adatokkal indul:

- az elöntési tartomány (rész/öblözet) határoló poligonja
- a szakadási nyílás vonala a határon
- a nyíláson kiömlő  $Q(t)$  idősor
- az elöntési tartomány digitális domborzati modellje (DDM)

- az előntési tartomány területén lévő főbb vízterelő objektumok (utak, vasutak) magassági adatait tartalmazó vonalláncok.

Kimenetként a szimuláció folyamán a területi cellákon kialakuló maximális vízmélységek raszter állományát kapjuk (HMAXk).

### 3.107 Az előntési események valószínűség becslése

Az azonos védelmi funkciójú védvonalak meghatározásának elsősorú kritériuma a terhelés azonossága. Ez azt jelenti, hogy egy adott árhullám levonulásakor a védvonal csoport minden részére azonos maximális terhelés jut. Itt ki kell emelnünk egy lényeges feltételezést:

egy árhullám esetén, ha a védvonal csoporton belül bárhol tönkremenetel áll elő, akkor a többi szakaszon ezt kizárjuk.

A feltétel mögött az a meggondolás rejlik, hogy a szakadás helyén kiömlő víztömeg tehermentesíti a csoport többi részét. Ez a feltételezés a tönkremeneteli valószínűség számítása szempontjából lényeges és megítélésünk szerint elfogadható. Egy H tetőzéssel levonuló árhullám esetén, melynek  $P(H)$  a túllépési valószínűsége, ha  $n$  szakadási helyet vettünk fel, akkor helyenként csak  $P(H)/n$  lehet a tönkremenetel valószínűsége. Természetesen csak akkor, ha az ellenállások mindenütt azonosak és kisebbek  $H$ -nál. Védvonalaink kiépítettségére, állapotára viszont korántsem az egyenletesség jellemző.

Tegyük fel, hogy az  $i$ -edik alszakaszon kijelölt szakadási helynél a  $T1$ -hez tartozó ellenállási, illetve terhelési szint  $HT1i$ . A vizsgálati tartományunkat 3 részre bontva, a  $[HT1i; HT2i]$  tetőzési tartományban érkező árhullámok  $P(HT1i) - P(HT2i)$  valószínűséggel jelennek meg. Ha csak ez az egy szakadási helyünk lenne, akkor ez az érték már az öblözeti tönkremenetel valószínűségét jelentené az adott terhelési tartományban. Kiemelt feltételünk miatt valamilyen elv szerint meg kell osztanunk a lokális terhelési tartományokból számított értékeket. Alapvetően két fő elvben gondolkodtunk:

a/ a „leggyengébb láncszem” elve és

b/ a „bárhol szakadhat” elv.

Korábbi vizsgálatainkban az a/ elvet alkalmaztuk, ami azt jelentette, hogy csak az azonos tartományban érintett szakadási helyek között osztottuk meg a valószínűségi értékeket. Ez a becslési eljárás azonban a fejlesztési tervezésnél sokszor nehezen értelmezhető eredményeket hozott (pl. ha a leggyengébb tartomány a fejlesztés miatt megszűnik, akkor a magasabb tartományokban a korábbi valószínűségek növekednek, ami bizonyos esetekben kockázat növekedést eredményezett).

A b/ elv lényege az, hogy nem tesszük egymástól függővé az egyes szakadási helyek valószínűségeinek számítását (tehát ha valahol csökken, máshol, emiatt növekedhet), hanem az adott alszakasz tönkremenetel két tényezőtől függ:

- az ellenállási értékekhez kapcsolt terhelési valószínűségektől és
- az alszakasz hossz szerinti súlyától.

Ez azt jelenti, hogy az öblözeten egy rövid, gyenge szakaszon ugyanolyan valószínűséggel jelentkezhet tönkremenetel, mint egy jóval hosszabb, valamivel erősebb szakaszon. Mindkét elvvel kapcsolatban felhozhatók pro és kontra érvek, azonban a b/ elvet azért választottuk, mert a fejlesztések parciális kockázati hatásai sokkal egyszerűbben és konzekvensen értelmezhetők.

Ilyen módon  $i$  alszakaszon  $j$  terhelési tartomány mellett bekövetkező tönkremenetel/elöntés valószínűsége ( $PTOij$ )

$$PTO_{ij} = PT_j * HSi, \quad (7)$$

ahol  $PT_j$  – a terhelési tartományba eső tetőzések valószínűsége

$HS_i$  – az alszakasz hossz szerinti súlya a védvonal csoportban.

A 3.106 pontban ismertetett  $HMAX_{ijk}$  elöntési mélységeket  $20 \times 20$  m-es cellákon értelmezve  $PTO_{ij}$  valószínűséggel jellemezzük. Így a  $k$ -adik területi cellán közelítőleg az elöntési mélységek  $PTO(HMAX_{ijk})$  diszkrét értékekkel leírt valószínűségi eloszlását kapjuk.

### 3.108 Közgazdasági vonatkozások

Amint azt az alapfogalmaknál rögzítettük, az elöntés valamely hatásának várható értékét tekintjük kockázatnak. A hatásokat különböző szempontok szerint vizsgálhatjuk:

- az emberi élet, életminőség
- vagyoni károk
- kulturális örökségben keletkező károk stb. vonatkozásában.

Magyarországon az emberi élet kockázata a védett ártereken – a jelenlegi kiépítettség mellett – elhanyagolható. Előrejelző és védekezési rendszerünk gyakorlatilag kizárja olyan töltésszakadási események bekövetkezését, amelyek esetén nem lenne lehetőség az emberi életek biztonságos mentését biztosító intézkedésekre. Mivel jelen anyagban a védett árterek árvízvédelmi fejlesztési kérdéseivel foglalkozunk, kiemelten kezeljük a vagyoni kockázat kérdését. Ezt két megfontolás is alátámasztja:

- a védett vagyon jellemzően a lakott térségeken koncentrálódik, azaz szoros összefüggésben van az emberi élet, életminőség kérdésével, valamint
- a kiépített rendszer fejlesztése előtérbe hozza a gazdaságossági kérdéseket.

A vagyoni kockázatot az elöntés hatásaként jelentkező vagyoni kár várható értékeként határozzuk meg. Ehhez két alapvető információt használunk fel:

- a területhasználati adatokat és
- a területhasználatokat jellemző elöntési kárfüggvényeket.

A területhasználatokat az elöntéssel azonosan  $20 \times 20$  m-es cellákon értelmezzük és fajlagos vagyonértékkel jellemezzük.

A kárfüggvények azt írják le, hogy egy adott területhasználat esetén milyen elöntési paraméter értékektől függően, milyen arányban károsodik az érintett vagyonérték. A védett árterek elöntéseinél az esemény jellemző paraméterének az elöntési mélységet választottuk.

A témakört részletesen a [5., 7. és 9.] anyagok tárgyalják.

### 3.109 A kockázatok becslése

Az azonos védelmi funkciójú védvonalak által védett – az ezek tönkremenetelekor veszélyeztetett – területeken (rész/öblözeteken) értelmezzük a jelentkező vagyoni kockázatot ( $KOCK$ ). Egy területi cellán ennek értéke

$$KOCK_k = \sum_{ij} (PTO(HMAX_{ijk}) * KAR_{ijk}) \quad (8)$$

ahol

$ij$  – szakadási hely; terhelési szint kombináció, scenárió

$KAR_{ijk}$  – a  $k$ -adik cellában az  $ij$  scenárió esetén jelentkező  $HMAX_{ijk}$  elöntési mélységnél a vagyoni kár.

A teljes rész/öblözeti kockázat

$$KOCK = \sum_k KOCK_k \quad (9)$$

alapján számítható (a valószínűségek becslési módjából adódóan az elemi kockázatok összegezhettek).

A 3.104 pontban jeleztük, hogy nem minden alszakaszon/szakadási helyen készítettünk (sokszor jelentős feldolgozási igényű) előntés szimulációt. A hiányzó ij scenáriókhoz, hidraulikai analógiai megfontolások alapján (levezetést mellőzzük) képezzük a HMAX<sub>ijk</sub> értékeket.

### 3.2 A tervezett állapot általános meghatározása

A tervezési vizsgálatokat jellemzően 30-50 éves időhorizonton végezzük. A vizsgálatok lényege, hogy hogyan alakulnak az időhorizonton a fejlesztéssel kapcsolatos költségek és kockázatok.

#### 3.21 Költségfüggvények

Eddigi vizsgálatainkban az alábbi költségelemeket vettük figyelembe:

- töltésemelések beruházási és fenntartási költségei - KTGTE
- védvonalat keresztező műtárgyak építésének, felújításának beruházási és fenntartási költségei - KTGM
- vonalmenti védekezési költségek - KTG<sub>VV</sub>
- tározós védekezés költségei – KTG<sub>TV</sub>.

A költségeket alszakaszonként az alábbi általános függvényalakkal becsüljük:

$$KTGTE = TE (FTE, KIEP(HSZ))$$

$$KTGM = M (FM, KIEP(HSZ))$$

$$KTG_{VV} = VV (FV, IE, HSZ)$$

$$KTG_{TV} = TV (FTV, TH, HSZ), \text{ ahol}$$

FTE, FM, FV, FTV – az egyes költségelemek műszaki jellemzőinek egységéhez kapcsolódó fajlagos értékek

IE – védekezési időelőny a vonalmenti védekezésnél

TH – a tározók vízszintcsökkentő hatása az alszakasznál

HSZ – a fejlesztés valamely szintje az alszakaszon

KIEP(HSZ) – az alszakasz kiépítettségével összefüggő műszaki jellemzők HSZ szintnél.

#### 3.22 Kockázat függvények

A 3.109 pontban leírtak szerint i szakadási helyen/alszakaszon j terhelési szintnél (HSZ<sub>j</sub>) a

$$KOCK_{kij} = PTO(HMAX_{ijk}) * KAR_{ijk} \quad (10)$$

$$KOCK_{ij} = \sum_k KOCK_{kij} \quad (11)$$

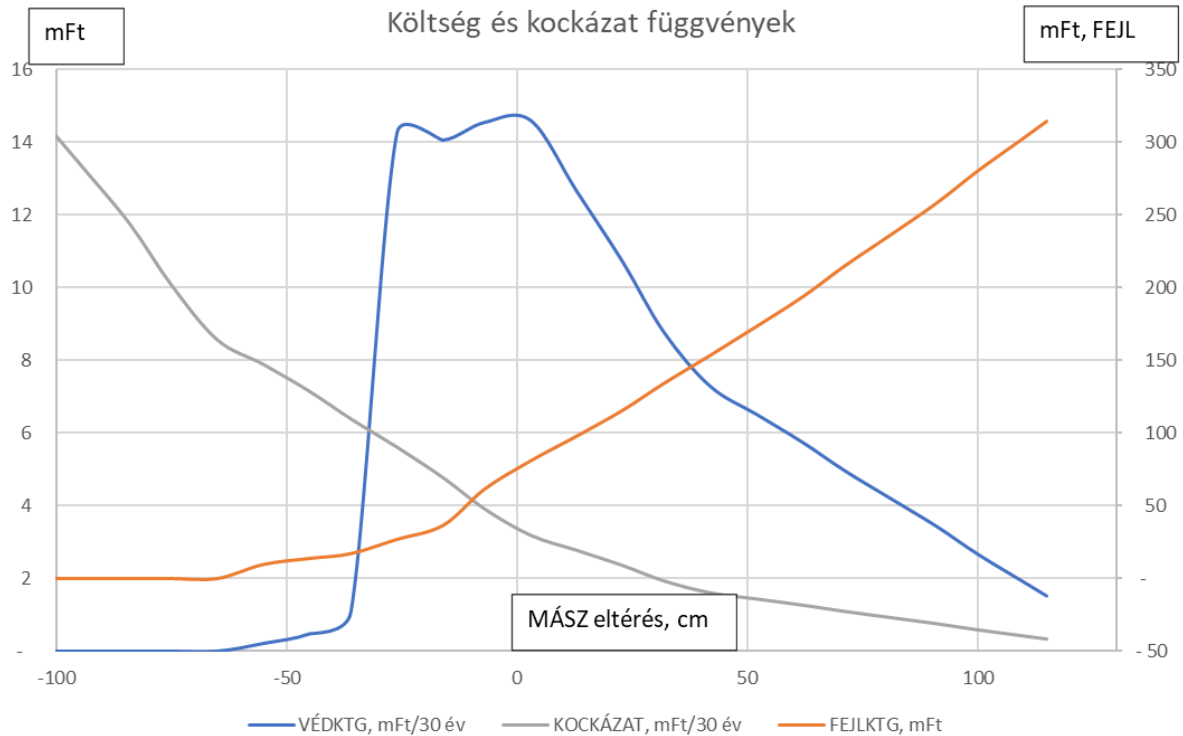
összefüggéssel számítjuk a scenárióhoz kapcsolódó kockázatot. Szakadási helyenként maximum 3 szinthez (T1, T2, T3) végezzük el az előntés szimulációt, s így HMAX<sub>k</sub>-ra és KAR<sub>k</sub>-ra illetve KOCK-ra 3-3 értéket számíthatunk az előntési raszterek alapján.

A tervezési feladatoknál az általános kérdés, mi a várható maradó kockázat valamely, az adott értékektől eltérő, HSZm szintnél? Erre a célra kidolgoztunk egy becslési eljárást, amely az adott szintek között, 10 cm-es lépésközökben számítja a kockázati értékeket az előntés szimuláció nélkül. Így szakadási helyekre előállítottuk a

$$\text{KOCKim} = \text{KOCK}(\text{HSZim})$$

(12)

függvényeket.



5. ábra. Azonos alszakasz költség és kockázati függvényei

### 3.23 Tervezett ellenállási szintek

Rendszerünk jelenlegi kiépítettségét, illetve védelmi állapotát - a 3.103 pontban közöltek szerint – az azonos viselkedésű alszakaszokra meghatározott ellenállási értékek alapján felvett T1, T2 terhelési szintek jellemzik. A védvonal fejlesztéseket az ellenállási szintek emelésével tudjuk kifejezni.

A tervezett állapot veszély- és kockázati hatásait az emelt szintek mellett, a jelen állapotnak megfelelő – a 3.105 – 3.109 pontokban leírt – feldolgozásokkal kapjuk meg.

A vizsgálat irányulhat akár egyetlen alszakasz vagy a teljes rész/öblözeti védvonalcsoport fejlesztésének kockázati hatásaira.

### 3.3 Az optimális tervezési változat meghatározása

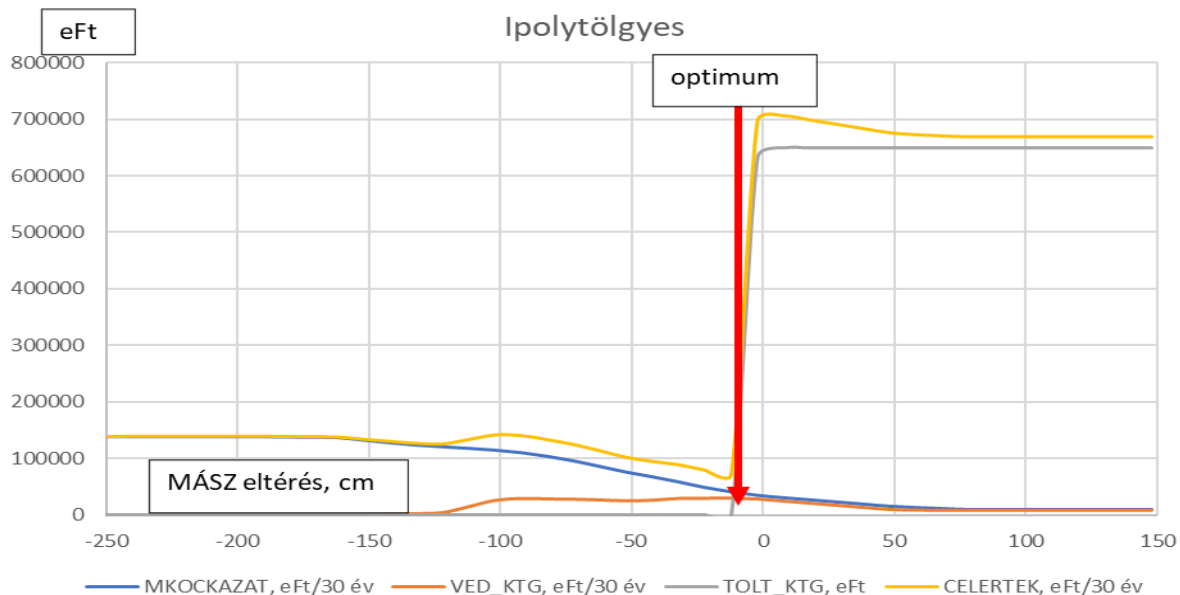
A tervezési modell és annak eredményei döntéselőkészítő jellegűek. Azt kívánják érzékeltetni a döntéshozóval, hogy bizonyos megfontolások következetes – meghatározott algoritmus szerint történő – végig vitelével milyen eredményekre jutunk. Nagyon fontos, hogy a döntéshozóban világossá váljanak a főbb ok-okozati összefüggések az adott feladattal kapcsolatban. Egy adott feladatnál, hogy mi tekinthető optimális, azaz a lehető legjobb megoldásnak, alapvetően szubjektív jellegű. Az érintettek általában eltérő nézőpontból

értelmezik a kérdéseket, de ha csoportérdekről van szó, mint esetünkben, akkor kompromisszumos megoldást kell keresni.

### 3.31 Az optimális változat célja és feltételrendszere

Jelen anyagban optimálisnak tekintjük a változatot akkor, ha

- a tervezési időhorizonton jelentkező költségek és a megvalósítás után fennmaradó kockázat összege minimális.



6. ábra Optimum keresés az Ipolytölgyesi öblözetnél

Az optimumkeresésnél bizonyos változatokat kizárhatunk, melyek adott feltételeknek nem felelnek meg. Jelen vizsgálatunknál ilyenek:

- a katasztrófális szintnél (melynek túllépési valószínűsége  $< 0.001$ ) magasabb fejlesztést nem engedünk
- a maximális védhető szint felett nem számolunk védekezési lehetőséggel (3.1022 pont).

### 3.32 Az optimális tervezési változat

Az előző pont szerint optimális tervezési változatot az alábbi adatokkal adjuk meg:

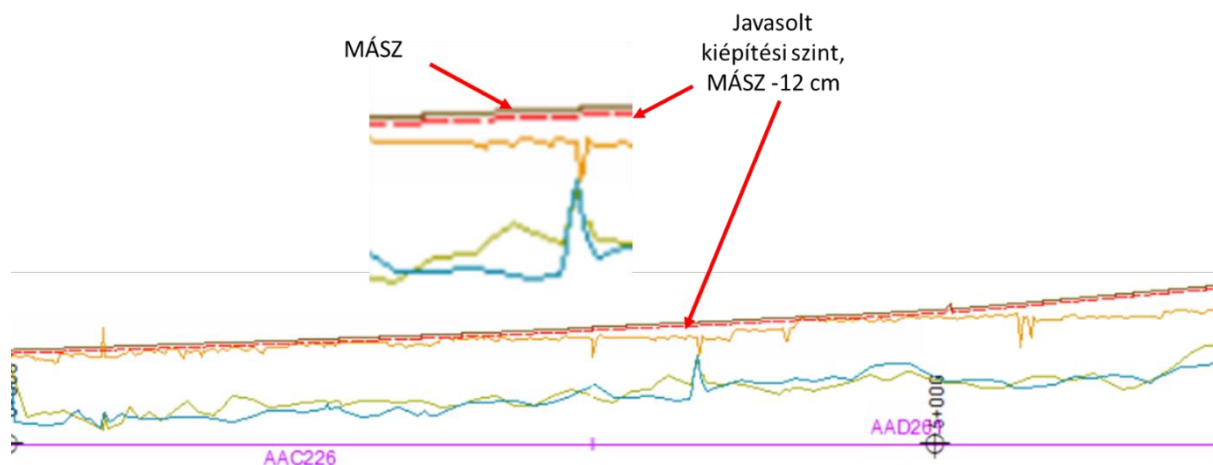
az azonos védelmi funkciójú védvonalak hossz-szelvényei az alábbi vonalakkal:

- töltéskorona
- MÁSZ
- töltésfejlesztési kiépítési szint
- védekezéssel növelt szint
- tározással növelt szint, valamint

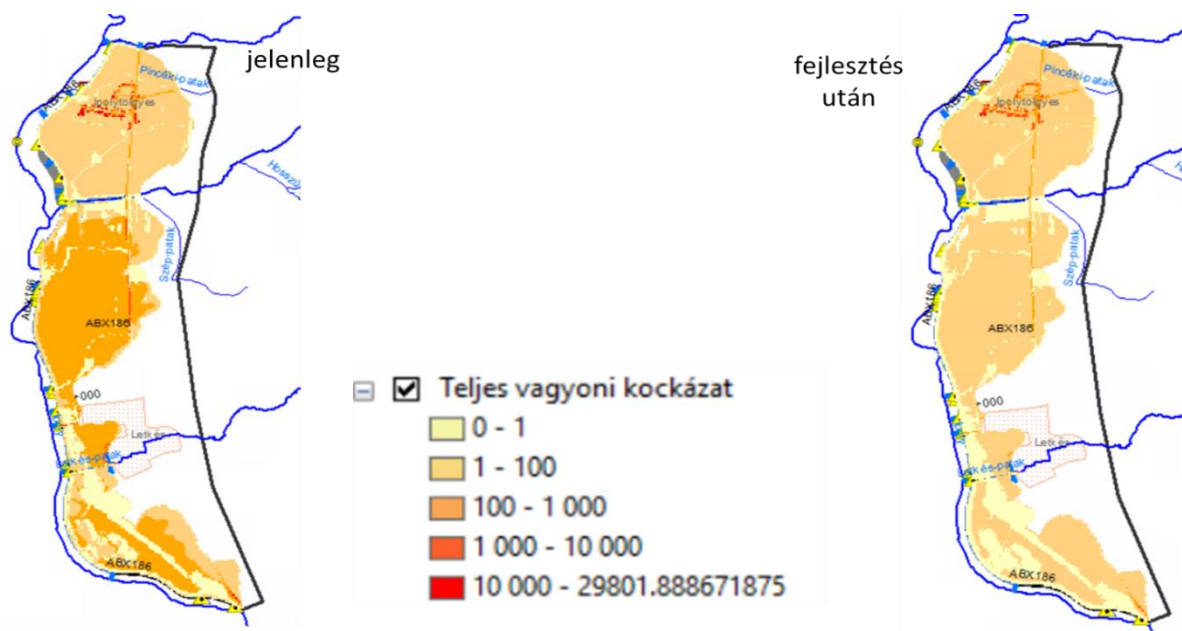
az alábbi adatokkal, fejlesztéssel érintett alszakasz bontásában:

- fővédvonal jele
- folyó
- partoldal
- töltés kezdőszelvény
- töltés zárószelvény
- töltésfejlesztési kiépítési szint a középszelvényben, mBf

- töltésfejlesztési költség, eFt
- műtárgy fejlesztési költség, eFt.



7. ábra Az optimális kiépítési szint az Ipolytölgyesi öblözetnél



8. ábra. A vagyoni kockázatok területi eloszlása jelenleg és az optimális kiépítés után

## ÖSSZEFOGLALÓ

Az EU Árvízi Irányelv követelményeinek megfelelően a 2008-2015. évi időszakban elkészültek az ország első veszély- és kockázati térképei, valamint az első stratégiai szintű tervezési változatok. Jelenleg ezek első felülvizsgálata zajlott le, melynek során lényeges metodikai elemek is megváltoztak. Az anyag már az új elemeket ismerteti.

Meghatározza, értelmezi az anyagban használt főbb fogalmakat, aminek ebben az esetben különös jelentősége van a mindennapi szóhasználatától eltérő, pontosított értelmezések miatt. Bemutatja a jelen és a tervezett állapot általános meghatározásának lépéseit, valamint az optimális tervváltozat lényegét.

A jelen állapotnál részletesen ismerteti a védvonalak ellenállásának, terhelésének és a tönkremenetelnek figyelembe vett modelljeit. Bemutatja az elöntési valószínűségek és vagyoni kockázatok becslési módját.



A tervezés általános részeként ismerteti a terhelés változásától függő költség- és kockázatfüggvények meghatározásának módját. Példát ad az optimálisnak tekinthető tervváltozat céljára és feltételrendszerére.

## IRODALOM

1. *Halcrow Water* (1999): Magyarországi árvízvédelmi fejlesztési és helyreállítási project: megvalósíthatósági tanulmány. Végző jelentés. Budapest
2. Az árvízi kockázatok meghatározásához szükséges műszaki és tudományos alapok megteremtése, új árvízi gyakorisági és kockázati- becslési módszerek kidolgozása (ÁRVÍZKOCKÁZAT PROJEKT). Nemzeti Kutatási-Fejlesztési Programok 3/067/2001.
3. Magyarország folyóinak mértékadó árvizei. VITUKI, 1976.
4. *Horkai A.*: Árvízi kockázat kezelés (ÁKK), metodikai összefoglaló, 2014. Vízgazdálkodási tervezés konstrukció, B) komponens: Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv készítése. KEOP – 2012 - 2. 5.0/B
5. Nyílt árterek, védett árterek, belvízi elöntések és kisvízfolyások elöntéseinek kockázatszámítási, térképezési és a kockázati értékelés műszaki dokumentációja. KSZI, 2016.
6. Üzemirányítás és monitoring hálózat fejlesztés komplex megvalósítása. KEHOP- 1.4.0-15-2016-00016 projekt zárójelentés, 2019.
7. *Ganszky Márton et al.*: A kockázatszámítás és kockázati térképezés metodikájának felülvizsgálata, 2019. Az előzetes árvízi kockázatbecslés, veszély – és kockázati térképek, a kockázatkezelési tervek első felülvizsgálata, KEHOP-1.1.0-15-2016-00006 azonosító számú projekt
8. *Bálint Márton et al.*: ÁKK – Árvízi elöntés modellezésének felülvizsgálata. Rácshálótesztelés, modellezési módszer kiválasztásának bemutatása, 2020. Az előzetes árvízi kockázatbecslés, veszély – és kockázati térképek, a kockázatkezelési tervek első felülvizsgálata, KEHOP-1.1.0-15-2016-00006 azonosító számú projekt
9. *Ganszky Márton*: Az ártéri öblözetek árvíz-kockázat-kezelési eredményeinek bemutatása, 2022. MHT Vándorgyűlés