MŰEGYETEM 1782

Balogh Edina

Árapasztó tározók működésének kockázatalapú elemzése

PhD tézisfüzet

Témavezető: **Dr. Koncsos László**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
2012

1. Bevezetés

Az árvizek - a folyók vízjárásának szélsőséges eseményei, illetve a tengerparti áradások - ősi idők óta az emberi civilizáció fejlődésének kísérői. A technikai-gazdasági fejlődés előrehaladtával az árvizekhez való alkalmazkodást mindinkább a környezetalakító, szabályozó magatartás váltotta fel, s az együttélés törékeny egyensúlya megbomlott. Az árterületek elfoglalása, termelésbe való bevonása sebezhetőbbé, kiszolgáltatottabbá tette az embert, s az árvíz fogalma egyre inkább jelentett katasztrófát, mint a saját céljaink elérése érdekében kiaknázható természeti jelenséget. Bár az árvízvédelem mind tudományos, mind gyakorlati téren komoly előrehaladást ért el, az árvizek ma is a Föld teljes lakosságának mintegy 10 %-át fenyegetik (Szlávik, 2002). Napjainkban a szélsőséges hidrológiai események, így az árvizek okozta veszteségek szignifikáns növekedésével kell szembenéznünk. Világszerte növekvő árvízveszélyről, a nagy árvízkatasztrófák számának emelkedéséről beszélhetünk, melyek évente több ezer haláleset és több 10 milliárd dollárnyi anyagi kár okozói (Kundzewicz et al, 2001). E jelenség oka igen összetett, a kedvezőtlen irányú változás alapvetően három tényezőre vezethető vissza, mégpedig a közvetlen emberi beavatkozások, illetve az éghajlatváltozás hatásaira, valamint az árvízveszélynek kitett területek gazdasági fejlődésére.

Magyarország természetföldrajzi adottságai árvízi veszélyeztetettség szempontjából meglehetősen kedvezőtlenek. Az ország a Kárpát-medence legmélyebb részén helyezkedik el, az árvíz által veszélyeztetett terület nagysága (21248 km^2) a legnagyobb ártéri arányt jelenti Európában (Szlávik, 2003). A teljes ártér 151 ártéri öblözetre tagozódik, melyeket összesen mintegy 4200 km hosszú töltésrendszer véd. Kiemelt fontosságú a Tisza vízgyűjtője, melyhez Magyarország területének 50%-a tartozik (Vágás, 1982), és amely a teljes árterület nagyságának mintegy 73 %-át (15600 km^2) kitevő 96 ártéri öblözetet foglal magában (Szlávik, 2003). A világszerte megfigyelt tendenciának megfelelően az árvízszintek folyamatos emelkedését, az árvizek gyakoriságának növekedését tapasztalhatjuk Magyarországon is.

Mindez további fejlesztési igényeket vet fel az árvízvédelemben mind módszertani, mind gyakorlati téren. Az évről évre fenyegető árvizek

megfékezése olyan stratégia kidolgozását igényli, mely a rendszer meglévő elemeit újszerű megoldásokkal kombinálva a megfelelő árvízvédelmi biztonság megteremtése mellett az időközben felmerült újabb igények (pl. tájvédelmi, ökológiai szempontok) kielégítését is biztosíthatja a jövőben. Magyarországon az ezredforduló környékén jelentkező, komoly veszteségeket okozó tiszai árvizek nyomán megszületett *Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése (VTT)* elnevezésű koncepció egyik központi eleme a nagy árvizek idején biztonságosan le nem vezethető vízmennyiség szabályozott körülmények között való ideiglenes tározását lehetővé tevő síkvidéki árapasztó rendszer kialakítása (Magyar Köztársaság Kormánya, 2003).

Szemléletváltásra van szükség az árvízi biztonság fogalmának értelmezésében is: a korábbi determinisztikus megközelítést a biztonság valószínűség-elméleti alapon történő értelmezésének kell felváltania, az árvízvédelmi stratégiák kidolgozását, értékelését pedig kockázatelemzési alapokra kell helyezni (UN-ECE, 2000; Nagy, 2005). A kockázatszemléletű megközelítés szükségességét és alapelveit, valamint az árvízkockázati térképek jelentőségét már *Az árvízmegelőzés, az árvízmentesítés és az árvízvédekezés legjobb gyakorlata* című dokumentum (EC, 2003) megfogalmazta európai uniós szinten. Az árvízkockázatok kezelésére vonatkozó bizottsági közlemény (EC, 2004), valamint a 2007. október 23-án kibocsátott 2007/60/EK számú irányelv pedig – konkrét követelményeket és határidőket megfogalmazva az árvízveszély- és árvízkockázati térképek, valamint az árvízkockázatok kezelési terveinek kidolgozására vonatkozóan – megteremti az árvízkockázatok értékelésének és kezelésének kereteit a tagállamok, így Magyarország számára is (EC, 2007).

2. Célkitűzések

Az értekezés célja töltésezett folyó mentén elhelyezkedő árvízi szükségtározókba történő vízkieresztés nagyság- és időbeli ütemezésének optimalizációja volt. Töltésezett folyószakaszon a megcsapoló jellegű szükségtározókba történő vízkieresztés ütemezésének hatékonyságát az alábbi tényezők befolyásolják:

- a szükségtározók elhelyezkedése és kapacitása,

- az árhullám alakulása (amit észlelt, illetve előrejelzett vízhozamgörbével írhatunk le),
- az érintett gátszakaszok bizonytalan védőképessége,
- az esetleges gátszakadás(ok) következtében bekövetkező veszteségek mértéke,
- az esetleges gátszakadás(ok) hatása a felvízi és alvízi árvízszintekre és ezen keresztül a kockázatra.

Célom egy olyan módszertan kidolgozása volt, mely mindezen tényezőket figyelembe véve egy adott árvízi szituációban alkalmazható vízkieresztési stratégiát szolgáltat. Az elemzés célja elméleti összefüggések feltárása, egy elméletileg megvalósítható ütemezés és az elérhető hatások mértékének meghatározása volt.

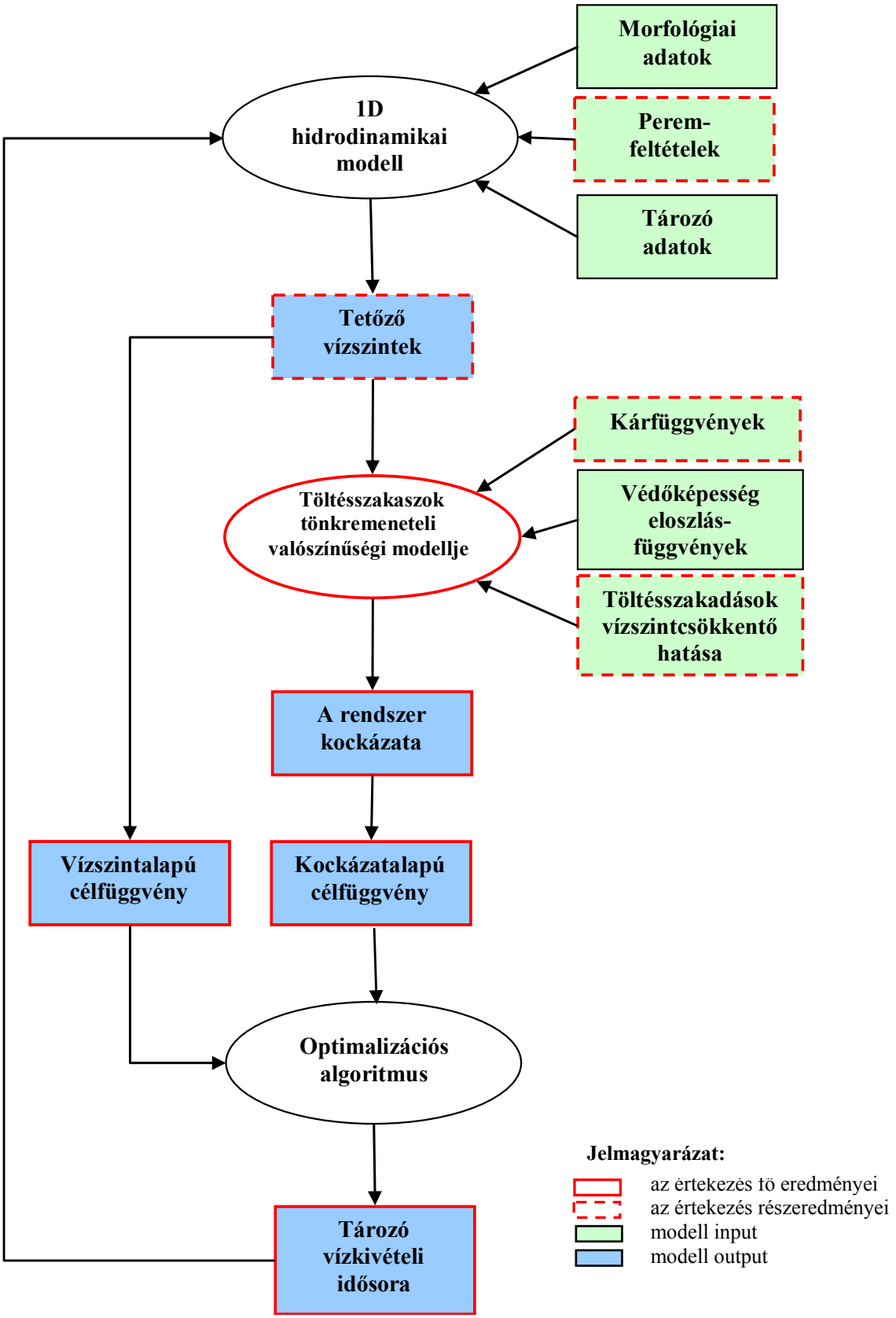
A kockázat fogalmának a tározóhatás definíciójába való beépítésével a tározóba történő vízkivezetés legnagyobb kockázatcsökkenést eredményező nagyság- és időbeli ütemezését határoztam meg. Az árvízi kockázatok alapjául szolgáló elöntési károk, illetve tönkremeneteli valószínűségek meghatározásánál célom volt a közelmúltban megszületett hazai kárfüggvények és védőképesség eloszlásfüggvények felhasználása, a feladathoz való adaptálása.

Célul tűztem ki továbbá a kidolgozott kockázatalapú eljárás bemutatását egy közép-tiszai mintaterületen, ahol a *VTT* keretében több szükségtározó valósul meg. A mintaterületi eredményeket az eddigi magyarországi gyakorlatban elterjedtebben alkalmazott vízszintalapú optimalizáció eredményeivel hasonlítottam össze, melynek során a tározóba történő vízkivezetés legnagyobb vízszintcsökkenést eredményező ütemezését határoztam meg. További célom volt a tározók hatékonyságának összehasonlítása az optimálisnak adódó ütemezés szerinti működtetéssel és attól eltérő stratégiájú feltöltés esetén.

3. Módszertan

A célul kitűzött feladat megvalósítása összetett módszertan kidolgozását igényelte, a meglévő hidrológiai-hidraulikai eszköztár felhasználása mellett saját módszertani fejlesztések alkalmazásával. A kidolgozott

módszertan fő elemeit az ***1. ábra*** foglalja össze.



1. ábra: A módszertan fő elemei

A módszertan középpontjában a szükségtározókba történő vízkieresztés maximális hatást eredményező ütemezésének meghatározását jelentő optimalizációs probléma áll, keretét pedig a mederbeli vízmozgás egydimenziós hidrodinamikai modellje biztosítja. Az alkalmazott egydimenziós modell, melynek segítségével meghatározhatók az elemzés kiinduló paramétereként szolgáló tetőzési vízszintértékek, a nempermanens vízmozgás Saint-Venant-féle folytonossági és dinamikai egyenleteit (lásd pl. Abbott, 1979) a véges differenciák implicit módszerei közé tartozó Preissmann séma alapján, az ún. double-sweep módszer alkalmazásával oldja meg (Liggett - Cunge, 1975).

Az optimalizációs feladatot a tározóhatás két eltérő megfogalmazásának megfelelően kétféle (kockázatalapú és vízszintalapú) célfüggvény alkalmazásával végeztem el:

- A tetőzési vízszintekre gyakorolt hatást mérő függvény a vizsgált szakasz teljes hosszán összegzi az egyes szelvények tetőzési vízszintjében a tározó(k) működtetésének hatására bekövetkező csökkenést, súlyozva azt a szomszédos szelvényektől való távolsággal.
- A kockázatcsökkentő hatást mérő célfüggvény definiálása a tönkremeneteli valószínűségek és a várható károk meghatározását igényelte. Az esetleges gátszakadás(ok) vízszintcsökkentő hatásának figyelembe vétele céljából tönkremeneteli valószínűségi modellt dolgoztam ki. A tönkremeneteli valószínűségi modell és a kárfüggvények ismeretében előállítható a kockázatalapú célfüggvény.

Az alkalmazott optimalizációs algoritmus egy adaptív Monte Carlo típusú eljárás (Koncsos et al, 1995; Koncsos, 2008). Az optimalizálandó paraméterek az adott tározóba Δt nagyságú időintervallumokban kivezetendő q_i vízhozamok, értéküket 0 és a vízkivételi kapacitás közötti tartományban keresi az algoritmus. Az optimumszámítás során korlátozó feltételként jelenik meg az adott tározó V_{max} térfogata, melyet a teljes kivezetett vízmennyiség nem haladhat meg.

Az elemzés során egy elvi, ún. „minta árhullám” levonulását vizsgáltam. Ennek alapjául történelmi (2000. évi tiszai) árhullám szolgált, melynek

jellegét megtartva, a matematikai statisztika módszereivel egy kisebb előfordulási valószínűségű, nagyobb tetőzési vízszinteket eredményező árhullámot definiáltam. Az alkalmazott matematikai statisztikai eljárás alapja az ún. metszék - módszer (lásd pl. Zsuffa, 1997) volt.

4. Az eredmények összefoglalása

Az értekezésben töltésezett folyó mentén működő árvízi szükségtározók működését elemeztem. A szükségtározók feltöltésének optimális nagyság- és időbeli ütemezését vizsgálva célom a kockázat fogalmának a tározóhatás definíciójába való beépítésével a tározóba történő vízkivezetés legnagyobb kockázatcsökkenést eredményező ütemezésének meghatározása volt. A kockázatalapú célfüggvény definiálása módszertani fejlesztéseket igényelt, melyek eredményeit az **1.** és a **2. tézisben** foglaltam össze.

1. tézis [14]:

Megállapítottam, hogy több töltésszakaszból álló árvízvédelmi rendszer kockázatalapú kezelése esetén az általánosan alkalmazott *elöntési kár x tönkremeneteli valószínűség* érték felülbecsüli a kockázatot. Ebben a rendszerben ugyanis egy adott árhullám szimulációja során a tetőző vízszint függvényében csupán a tönkremenetel valószínűségét határozzuk meg, annak bekövetkeztéről nem döntünk. Így közvetlenül nem vehető figyelembe egy esetleges gátszakadás vízszintcsökkentő hatása, a vízszinttől függő tönkremeneteli valószínűségek, illetve kárértékek aktuális értékének csökkenése a többi szakaszra vonatkozóan. E hiba kiküszöbölésére olyan tönkremeneteli valószínűségi modellt dolgoztam ki, ami az esetleges gátszakadások vízszintcsökkentő hatását is képes figyelembe venni. A modell tetszőleges *n* számú töltésszakaszból álló rendszerre alkalmazható, a teljes eseményrendszert alkotó tönkremeneteli kombinációk száma *n* szakasz esetén 2^n. Az *n* szakaszból álló rendszer összes tönkremeneteli kombinációjának összegzett valószínűsége:

$$P = \sum_{m=1}^{n} P_m$$

ahol *m* azon szakaszok száma, ahol az aktuális tönkremeneteli kombinációban szakadás következik be és

$$P_m = \sum_{\substack{jm=j(m-1)+1 \\ \dots \\ j2=j1+1 \\ j1=1}}^{\substack{n-m \\ n-m+1 \\ \dots \\ n}} \left\{ \prod_{h=1}^{m} P_{jh}\left(h_{jh} - \sum_{\substack{t=1 \\ t\neq h}}^{m} m_{jh}^{jt} \right) \cdot \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq j1,\dots,jm}}^{n} \left[1 - P_i\left(h_i - \sum_{t=1}^{m} m_i^{jt} \right) \right] \right\}$$

ahol $m_{jh}^{jt} = 0$ **ha** $jh < jt$ **és** $m_i^{jt} = 0$ **ha** $i < jt$

<u>2. tézis</u> [14]:

Az árvízi szükségtározók vízkivételi ütemezésének optimalizációjához kockázatalapú célfüggvényt dolgoztam ki, ami az árvízvédelmi töltésszakaszok tönkremeneteli valószínűségi modelljén alapul és a lehetséges tönkremenetelek esetén várható károkat is ebben a rendszerben kezeli. A rendszer teljes kockázata az egyes tönkremeneteli kombinációkhoz tartozó kockázatok összegeként definiálható, az általános formula tetszőleges *n* számú töltésszakasz esetére:

$$R = \sum_{m=0}^{n} R_m$$

ahol m **azon szakaszok száma, ahol az aktuális tönkremeneteli kombinációban szakadás következik be és**

$$R_m = \sum_{\substack{jm=j(m-1)+1 \\ \dots \\ j2=j1+1 \\ j1=1}}^{\substack{n-m \\ n-m+1 \\ \dots \\ n}} \left\{ \prod_{h=1}^{m} P_{jh}\left(h_{jh} - \sum_{\substack{t=1 \\ t\neq h}}^{m} m_{jh}^{jt} \right) \cdot \prod_{\substack{i=1 \\ i\neq j1,\dots,jm}}^{n} \left[1 - P_i\left(h_i - \sum_{t=1}^{m} m_i^{jt} \right) \right] \cdot \sum_{l=1}^{m} L_{jl}\left(h_{jl} - \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq l}}^{m} m_{jl}^{jk} \right) \right\}$$

ahol $m_{jh}^{jt} = 0$ **ha** $jh < jt$ **és** $m_i^{jt} = 0$ **ha** $i < jt$

A kockázatalapú célfüggvényt a rendszer teljes kockázatának a szükségtározó(k) feltöltésének ütemezése függvényében alakuló értékeként definiáltam.

A tönkremeneteli valószínűségi modell és a kockázatalapú célfüggvény definiálása megteremtette a lehetőséget egy általános eljárás kidolgozására, mely a szükségtározókba történő vízkivezetés ütemezésének kockázatalapú optimalizációjára szolgál. Az eljárás lépései a következők:

1. A töltésszakadások előzetes szimulációjával a vízszintcsökkentő hatások meghatározása;
2. Az érintett töltésszakaszok védőképesség-eloszlásának meghatározása;
3. Az érintett szakaszokhoz tartozó elöntési kárfüggvények meghatározása;
4. A kockázatalapú célfüggvény definiálása;
5. Az optimalizáció korlátozó feltételének definiálása;
6. Az adott folyószakaszra kalibrált és validált egydimenziós hidrodinamikai modellbe ágyazott optimalizációs algoritmus alkalmazásával az optimalizáció lépései:
   a) Az egydimenziós modellel az érkező árhullám vízhozam idősora, mint felső peremfeltétel függvényében az egyes töltésszakaszok mértékadó szelvényében a tetőzési vízszint meghatározása a tározó(k) figyelembe vétele nélkül;
   b) A tetőzési vízszintekből kiindulva az egyes tönkremeneteli kombinációkhoz tartozó módosított tetőzési vízszintek meghatározása töltésszakaszonként (a tönkremenetelek vízszintcsökkentő hatásainak figyelembe vételével);
   c) A módosított tetőzési vízszintek függvényében a védőképesség-eloszlás, illetve a kárfüggvény alapján az egyes tönkremeneteli kombinációkhoz tartozó tönkremeneteli valószínűségek és kárértékek meghatározása töltésszakaszonként;
   d) A rendszer tározás nélküli kockázatának (R^0) számítása az egyes tönkremeneteli kombinációkhoz tartozó kockázatok összegeként;
   e) A célfüggvény kezdeti értéke: $H^{opt} = R^0$;
   f) A tetőzési vízszintek meghatározása a tározás kifolyásként való figyelembe vételével, az optimalizálandó paraméterek aktuális értékeivel (ez az első lépésben a kezdeti értékeket, a továbbiakban az algoritmus által felújított értékeket jelenti) számolva, a korlátozó feltételt figyelembe véve;
   g) A tetőzési vízszintekből kiindulva az egyes tönkremeneteli kombinációkhoz tartozó módosított tetőzési vízszintek meghatározása

töltésszakaszonként (a tönkremenetelek vízszintcsökkentő hatásainak figyelembe vételével);

h) A módosított tetőzési vízszintek függvényében a védőképesség-eloszlás, illetve a kárfüggvény alapján az egyes tönkremeneteli kombinációkhoz tartozó tönkremeneteli valószínűségek és kárértékek meghatározása töltésszakaszonként;

i) A rendszer tározással módosított kockázatának (R^T) számítása az egyes tönkremeneteli kombinációkhoz tartozó kockázatok összegeként;

j) A célfüggvény aktuális értéke: $H^a = R^T$;

k) A célfüggvény aktuális értékének vizsgálata:
$H^a < H^{opt}$ esetén $H^{opt} = H^a$ és az optimális paraméterek tárolása;

l) A leállási feltétel vizsgálata:
- ha nem teljesül, vissza az f) pontra
- ha teljesül, vége az optimalizációnak;

7. A paraméterek optimális értékei megadják a tározó(k) kockázatcsökkentő hatásának maximumát eredményező vízkivételi ütemezés idősorát.
8. Az optimális paraméterekhez tartozó H^{opt} érték a tározó(k) alkalmazásával maximálisan elérhető kockázatcsökkenést fejezi ki.

Fentieket a **3. tézisben** foglaltam össze:

3. tézis [14]:

Eljárást dolgoztam ki töltésezett folyó mentén létesített szükségtározók optimális feltöltési ütemezésének kockázatalapú meghatározására. A töltésszakaszokból és tározókból álló rendszerben hidrodinamikai modellbe ágyazott optimalizációs algoritmus szolgáltatja az egyes tározók feltöltésének legkisebb kockázatot eredményező idősorát egy adott árhullám esetén. Az optimalizáció kockázatalapú célfüggvényének értéke a vizsgált töltésszakaszok védőképesség-eloszlás- és elöntési kárfüggvényei alapján, a hidrodinamikai modellel számított tetőző vízszintek függvényében határozható meg, figyelembe véve az összes lehetséges tönkremeneteli kombinációt. Az egyes tönkremeneteli kombinációkhoz tartozó gátszakadások vízszintcsökkentő hatása előzetes szimuláció eredményei alapján veendő figyelembe. A tározó(k) működésének a tetőző vízszintekre gyakorolt hatását a hidrodinamikai modell az

optimalizáció minden lépésében az aktuális feltöltési idősornak megfelelően számítja.

A kidolgozott kockázatalapú optimalizációs eljárás alkalmazásával középtiszai szükségtározók működését elemeztem. Az eredményeket az eddigi hazai gyakorlatban elterjedtebben alkalmazott vízszintalapú optimalizáció eredményeivel hasonlítottam össze, melynek során a tározóba történő vízkivezetés legnagyobb vízszintcsökkenést eredményező ütemezését határoztam meg, több különböző árhullámot vizsgálva. Összehasonlítottam továbbá a szükségtározók hatékonyságát az optimálisnak adódó ütemezés szerinti működtetéssel, illetve attól eltérő stratégiájú feltöltés esetén. A következtetéseket a **4. tézisben** mutatom be.

4. tézis [2], [4], [5], [13], [14]:
Kockázatalapú, illetve a vízszintcsökkentő hatást mérő célfüggvénnyel elvégzett optimalizációs vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a Tisza magyarországi középső szakaszán az árvízi szükségtározók feltöltésének optimális stratégiája az árhullámcsúcshoz képest jelentős időelőnyt követel. Az optimális vízkivezetés az árhullám felszálló ágára koncentrálódik. Amennyiben a tározó nyitása az árhullámcsúcs elérésének időpontjában történik, a vízszint-, illetve kockázatcsökkentő hatás jelentős mértékben csökken. Javaslom tetszőleges előrejelzett árhullám esetén az optimális mértékű előnyitás meghatározását, és az előrejelzés időelőnyének lehetőségéhez mérten ahhoz közelítő tározófeltöltési ütemezés alkalmazását.

5. Irodalomjegyzék

Abbott, M. B. (1979): Computational hydraulics – elements of the theory of free surface flows, Pitman, London, UK.

EC (2003): *Best Practices of Flood prevention, Protection and Mitigation.* EC Water Directors Meeting, Athens, Greece, 06.2003.

EC (2004): Commission of the European Communities: Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Flood risk management, Flood prevention, protection and mitigation, COM(2004)472 final. *Official Journal of the European Communities,* 12.07.2004.

EC (2007): Directive 2007/60/ec of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. *Official Journal of the European Communities,* 06.11.2007.

Koncsos, L., Schütz, E. and Windau, U. (1995): Application of a comprehensive decision support system for the water quality management of the River Ruhr, Germany. Modelling and Management of Sustainable Basin-scale Water Resource Systems (Proceedings of a Boulder Symposium, 07.1995). IAHS Publ. No 231. pp. 97-106.

Koncsos, L. (2008): Döntéstámogató rendszerek a vízminőségi és árvízi tervezésben. Habilitációs tézisek. Kézirat. Budapest.

Kundzewicz, Z. W., Budhakooncharoen, S., Bronstert, A., Hoff, H., Lettenmaier, D., Menzel, L. and Schulze, R. (2001): *Floods and droughts: Coping with variability and climate change.* Thematic background paper. International Conference on Freshwater, Bonn.

Liggett, J.A. and Cunge, J.A. (1975): Numerical methods for the solution of the unsteady flow equations. In: Mahmood and Yevjevich (eds): Unsteady Flow in Open Channels, pp. 89–182. Water Resources Publications, Fort Collins, CO, USA.

Magyar Köztársaság Kormánya (2003): 1022/2003. (III. 27.) Korm. határozat a Duna és a Tisza árvízvédelmi műveinek felülvizsgált fejlesztési feladatairól, valamint a Tisza-völgy árvízi biztonságának növelésére vonatkozó koncepcióról (a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése). Magyar Közlöny, 2003/30.

Nagy, L. (2005): Árvízi kockázat az árvízvédelmi gát tönkremenetele alapján. Ph.D. értekezés. Budapest.

Szlávik, L. (2002): Árvízvédelem. In: Somlyódy, L. (szerk.): *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései,* pp. 205-243. MTA, Budapest.

Szlávik, L. (2003): *Az árvízvédelmi biztonság elemzése.* Szintézis tanulmány. MTA Nemzeti Stratégiai Program. VITUKI, Budapest.

UN-ECE – United Nations Economic Comission for Europe (2000): Sustainable Flood Prevention. Meeting of the parties to the convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes. Hague, Netherlands, 23-25. 03. 2000.

Vágás, I. (1982): *A Tisza árvizei.* Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet, Budapest.

Zsuffa, I. (1997): *Műszaki Hidrológia II.* Műegyetemi Kiadó, Budapest.

6. Publikációs jegyzék (2003-2012)

[1] **Balogh, E.** (2003): A Felső-Tisza árvízi kockázatainak gazdasági hatásai. *Vízügyi Közlemények* 85:(3) pp. 417-432.

[2] **Balogh, E.**, Koncsos, L. (2005): Vésztározók optimális üzemrendje. In: Barna, Zs., Józsa, Zs. (szerk.) *Doktori kutatások a BME Építőmérnöki Karán.* Budapest, 2005.03.02 pp. 206-213.

[3] **Balogh, E.** (2005): Árvízi kockázatok gazdasági hatásai a Tiszabecs-Tokaj közötti Tiszán. *Hidrológiai Közlöny* 85:(2) pp. 9-16.

[4] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2006): Tározók optimális üzemrendje. *Hidrológiai Közlöny* 86:(4) pp. 3-6.

[5] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2006): Optimum operation of flood control reservoirs. In: Simkova, T. (szerk.) *Flood Protection Conference*. Podbanské, Szlovákia, 2006.12.04-2006.12.07. pp. 202-211.

[6] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2007): Elárasztási modellel támogatott árvízi kárszámítás a Tisza völgyében. *Hidrológiai Közlöny* 87:(5) pp. 23-28.

[7] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2007): Flood damage calculation supported by inundation model in the Tisza valley. In: Di Silvio, G., Lanzoni, S. (szerk.) *32nd IAHR Congress: Harmonizing the Demands of Art and Nature in Hydraulics.* Venice, Olaszország, 2007.07.01-2007.07.06. CD-Paper SS05-12-O. p. 10.

[8] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2007): A klímaváltozás és az árvízvédelmi intézkedések kölcsönhatása. *Éghajlatváltozás – Gazdasági Klímaváltozás Konferencia.* Budapest, 2007.10.04.

[9] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2008): Flood disaster mitigation by inundation of the deep floodplain. In: Simonovic, S.P., Bourget, P.G., Blanchard, S.F. (szerk.) *4th International Symposium on Flood Defence: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability.* Toronto, Kanada, 2008.05.06-2008.05.08. CD-Paper 86. p.8.

[10] **Balogh, E.** (2009): Szakirodalmi áttekintés a hazai belvizekről. *Hidrológiai Közlöny* 89:(4) pp. 53-55.

[11] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2009): Dynamic modelling of flow control aiding sustainable land management in Bodrogköz. *Thaiszia - Journal of Botany* 19:(Suppl. 1) pp. 527-542.

[12] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2009): Belvízkockázatok számítása korszerű hidroinformatikai eszközökkel. In: Szlávik, L. (szerk.) *Magyar Hidrológiai Társaság XXVII. Országos Vándorgyűlés.* Baja, 2009. 07.01-2009.07.03. CD p.9

[13] Koncsos, L., **Balogh, E.** (2010): A simulation-optimisation methodology for designing the operation of emergency reservoirs in the Hungarian Tisza basin. *Periodica Polytechnica - Civil Engineering* 54: (2) pp.101-106.

[14] **Balogh, E.**, Bogárdi, I., Koncsos, L. (2012): Árvízi szükségtározók feltöltésének optimális ütemezése. *Hidrológiai Közlöny*, 92:(1) pp. 41-47.

Balogh Edina
Tel: +3670 2445775
Fax: +3676 411159
E-mail: eabalogh@gmail.com