

*Koncsos László*

*A Tisza árvízi szabályozása  
a Kárpát-medencében*



**Magyar  
Természetvédők  
Szövetsége**

Föld Barátai Magyarország

**A Tisza árvízi szabályozása a Kárpát-medencében**  
(NKFP-3/A 0039/2002 kutatás rövid összefoglalása)

**Írta:**

Koncsos László  
Budapesti Műszaki Egyetem  
Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék  
1111 Budapest Műegyetem rkp. 3.

**Kiadja:**

Magyar Természetvédők Szövetsége  
1091 Budapest, Üllői út 91/b. tel: 216-7297,  
e-mail: info@mtvsz.hu, http://www.mtvsz.hu

*A kiadvány a Szövetség az Élő Tiszáért szervezettel történő  
együttműködéssel készült.*

2006. december



REGIONÁLIS KÖRNYEZETVÉDELMI KÖZPONT  
Magyarország

*A kiadvány a Közép- és Kelet-Európai Regionális Környezetvédelmi Központ (REC)  
„DUNA Pályázati Program” támogatásával jelenik meg. A „DUNA Pályázati  
Program” a UNDP / GEF Duna Regionális Projekt (DRP) része.*



**ISBN 978-963-86870-9-8**

Arculattervezés, tördelés: Balmoral Bt. (20/391-41-47)

Készült 2006-ban 500 példányban a MacKensen Kft. nyomdájában.

Felelős kiadó: dr. Farkas István. Borító fotók: Sallai R. Benedek, Sallai Zoltán (HNP)

**Tartalomjegyzék**

Előszó .....	4
1. Bevezetés .....	6
2. Célkitűzés .....	7
3. Módszertan és a kutatási területek kijelölése .....	8
4. A kutatás szakmai és tudományos eredményei .....	10
4.1 Távérzékelésen és területi információkon alapuló adatbázis	10
4.1.1 Ökológiai és természetvédelmi alrendszer	11
4.1.2 Hidrometeorológiai és hidrológiai alrendszer	11
4.1.3 Talajtani, területhasználati, morfológiai és tervezési alrendszer	11
4.1.4 Integrált adatbázis	13
4.2 Mértékadó hidrometeorológiai forgatókönyvek	14
4.2.1 Meteorológiai adatmezők kalibrálása és statisztikai elemzése	14
4.2.2 Területhasználati és geomorfológiai trendvizsgálatok	15
4.2.3 Az éghajlatváltozás hatásai. Meteorológiai adatgenerátor és mértékadó forgatókönyvek előállítása	16
4.3 Hidrológiai-vízgyűjtő modell	17
4.3.1 Csapadék-lefolyás modell	18
4.3.2 Mederbeli vízmozgás hidrodinamikai modellje	18
4.3.3 Terep-elöntés kétdimenziós hidrodinamikai modellje	19
4.4 Árvíz-szabályozási döntéstámogató rendszer	21
4.5 Árvíz-szabályozási alternatívák	21
4.5.1 Árvíz-szabályozási alternatívák kidolgozása	22
4.5.2 Tározók tervezési módszereinek fejlesztése	22
4.6 Az alternatívák értékelése	23
4.6.1 Szimulációs hibrid módszer fejlesztése	24
4.7 Fenntartható árvíz-szabályozási koncepció	28
4.8 Következtetések	30

## Előszó

„A természet hatalmas, az ember kicsi. Az emberi élet jellege és színvonala mindig az ember és a természet viszonyától függött; attól, hogy mennyire volt képes megérteni az ember a természetet, és erőit saját hasznára fordítani.

Minden faj fennmaradása azon múlik, milyen mértékben képes alkalmazkodni a környezetéhez. Minden más élő fajhoz hasonlóan az embernek is ahhoz a világhoz kellett alkalmazkodnia, amelyben született.”

(SZENT-GYÖRGYI ALBERT: Az örült majom)

A Tisza és mellékfolyói által át- és átszótt Tisza-völgy, vagy ha úgy tetszik, a tiszai alföld, hazánk egyik legjellemzőbb földrajzi tája. Természeti értékekben még ma is gazdag, azonban a mezőgazdasági szempontból, természetvédelmi szempontból egyaránt kiemelt jelentőségű tájat problémák sújtják. A Tisza-mente vidékének népességmegtartó ereje kiemelkedően rossz, a természeti értékek degradálódnak, a víztér kémiai-biológiai állapota romlik, és az árvízi biztonság jelentősen csökkent.

Sajnos ezáltal egyértelműen bizonyítást nyert – miután mindezek szoros összefüggésben vannak egymással –, hogy az Alföld mai képét létrehozó eredeti Vásárhelyi-terv megbukott. Voltak, akik ezt már korábban tudták, de sajnos szavuk nem volt elég hangos ahhoz, hogy változást hozzanak. Vay Alajos „Észrevételek a Tisza és mellékfolyóinak szabályozásáról (Budapest, 1885)” c. művében írja az alábbiakat:

„Mind e sorokat a tisztelt közönség színe elé bocsátom, nagyon jól tudom, hogy darázsfaszekbe nyúlok; mert sok ember anyagi érdekeit kell érintenem, s másoknak szakképzettségét megtámadnom.

Ama szerencsétlen Tisza-szabályozási rendszerhez akarok szólni, melynek ferdéseit megfoghatatlan közönnyel nézi sok jóra való ember, és hallgatással tűri sok károsult hazánkfia, - mert mi tagadás benne, nálunk sokan tudatlanságból vagy indolenciából még nagy respectussal viseltetnek efféle nagyobb munkában az úgynevezett szakemberek iránt, kiknek kilencz-tizedrésze annyit ért dolgához, mint a hajdú a harangöntéshez. (...)

Kérem azonban a tisztelt olvasót, hogy félre ne ertse szavaimat, nem mondom én azt, hogy a Tisza-szabályozásnak nincsen semmi haszna, sőt készséggel előismerem, hogy helyenként van - de van ám kára is, még pedig igen nagy kára, mely előtt szemünket behunyni a Tisza-vidéki magyarság ellen elkövetett bűnnel egyértelmű lenne.

Gondoljunk csak vissza a Tisza szabályozását megelőző időre! Fordult-e elő akkor eset, hogy e folyó egész falukat és városokat tett volna tönkre, mint ahogy Szegedet tönkretette? Igen, néhány házat egyik vagy másik községben elpusztított, de hogy egész községeket elöntött volna, az az eset nem fordult elő soha. (...)

Ország-világ tudja, hogy a Tisza-szabályozás befejezve nemcsak nincsen, sőt ha az eddigi rendszer továbbra is fog folytatni, nemcsak újra beletelik vagy negyven év, s a szabályozás mégsem lesz befejezve - és pedig azon egyszerű oknál fogva, mert nemcsak a Tisza-part töltéseit, hanem még a mellékfolyókat is kénytelenek leszünk egyre felemelni, és e töltésemelésnek hol itt, hol ott soha vége nem lesz. A most műkö-

dó Tisza-szabályozási mérnöknek fia örökölni fogja apjának jövedelmező hivatalát, s ezután fiának fia követheti - egész a végtelenségig. És mi oknál fogva merem én oly határozottan állítani, hogy a Tisza szabályozás századokon át sem lesz befejezve?

Azon oknál fogva, mivel nem vízmegosztásra, hanem legfőképp a töltésezésre lett a fő súly fektetve, sőt az átvágások is csak mellékes szempontból lettek megtéve. Sajnálom, de ki kell mondanom, ezek is igazán okatlanul vitettek keresztül.

Éppen az a hiba követtetett el a Tisza-szabályozásnál is, mely a Maasz, Waal és Leck folyók szabályozásánál lett elkövetve; csakhogy azóta - amikor azokat szabályozni kezdték - mintegy nyolczszáz év múlt el, tehát megfoghatatlan, hogy mi magyarok nem okultunk a hollandiak és belgák kárán, pedig jól tudjuk a históriából, hogy egyszer száz falunál, másodsor hatvan falunál többet pusztított el a Maasz, Waal és Leck folyók árja, midőn töltéseik több helyen kiszakadtak.”

A Magyar Természetvédők Szövetsége felismerve, hogy az eredeti Vásárhelyi-terv problémái miként hatnak ki a mai napig a tiszai alföld életére, szeretné elérni, hogy ne ágazati, csővégi megoldási kísérletek szülessenek, hanem átfogó, az eredeti problémát, tehát az okokat valóban kezelő megoldás.

Az árvízi védekezés hazánkban nem csupán az itt élő lakosság árvízi biztonsága miatt kiemelkedő jelentőségű, hanem azért is, mert a társadalmi problémák hatására megjelenő környezet- és természetvédelmi problémák egy jó részére is megoldást adna, ha a kormányzat végre a probléma valós kezelését valósítana meg. Az árvízi védekezés jelenlegi koncepciótlan, lakosságot veszélyeztető megoldásai nem csak rendkívül költségesek (hiszen csak 2006-ban ötven milliárd forintot emésztett fel a védekezés), hanem számos járulékos problémát is hoznak magukkal. A társadalmi problémák között élén jár a közélet tisztaságával kapcsolatos aggályokat felvető árvízi védekezés, amelyen évek óta milliárdokat keres a feketegazdaság, és számos környezet- és természetvédelmi probléma is jelentkezik.

Épp ezért a Magyar Természetvédők Szövetsége örömmel üdvözölte azt a kutatást, amelyet a jelen kötet szerzője, Koncsos László nevével fémjelzett csapat készített, hiszen ez végre alternatívát mutat - közgazdasági bizonyítékokkal - arra nézve, hogy van más lehetőség, mint havária helyzetben homokzsákokkal védekezni, amit jelenleg alkalmaz országunk.

Arra számítunk, hogy ezek az alternatívák, amelyek a kutatás eredményeinek rövid összefoglalásaként jelen kis kötetben is megjelennek, nem csupán az árvízi biztonságra, hanem számos, a folyó kémiai, biológiai biztonságával együttjáró veszélyre is megoldást kínálhat.

A Magyar Természetvédők Szövetsége a jelen kötet megjelentetésével is épp ezért a kutatás folytatását szorgalmazza.

Sallai R. Benedek  
Magyar Természetvédők Szövetsége

## 1. Bevezetés

Hazánk árvízi veszélyeztetettsége Európában a legnagyobb. Az országon belül kiemelt fontosságú a Tisza vízgyűjtője, ahol az ártéri öblözetek 3/4-e található. A tiszai árvizek gyakran igen hevesek: a Felső-Tiszán és a Kőrösökön lehulló csapadék hatására a vízszint 1-2 nap alatt akár 8 m-t is emelkedhet. A kiváltó tényezők változatosak: tavaszi áradás, téli csapadék, hóolvadás, a mellékfolyók árvizei és a különböző események időbeli- és területi egybeesései.

A Tiszán jelentkező súlyos gondok megoldására a Széchenyi által kezdeményezett Tisza szabályozás - amely „integráltságában” akkoriban kiemelkedő színvonalú volt egész Európában- az elmúlt évekig úgy tűnt, a terv megnyugtató és „végleges” megoldást adja. Ugyanakkor az utóbbi évek során a legnagyobb vízállások (LNV) folyamatos (nem ritkán 2-3 m-es) emelkedését tapasztalták. Ezt értelemszerűen a gátak koronaszintjének emelése követte. A megítélés változását és az újra gondolás igényét az elmúlt nyolc év súlyos károkkal, magas helyreállítási költségekkel és emberélet áldozattal is járó rekord árvizei hozták. Ezt csak erősítette a mintegy 100 év hosszúságú tiszai vízállás idősorok matematikai-statisztikai elemzése, amely különös ellentmondásra hívta fel a figyelmet: szemben az LNV-k fokozatos, megfigyelt emelkedésével különösebb trendet és az eloszlások módosulását nem sikerült kimutatni. Az árhullámok növekvő LNV szintjei és csökkenő visszatérési ideje megingatta az árvédelmi művek méretezési elméletébe, a matematikai-statisztikai módszerek alkalmazásába vetett hitet (amelyek nem képesek az ok-okozati összefüggéseket és eddig elő nem fordult eseményeket jellemezni). Visszatérő kérdéssé vált, hogy az újabb és újabb rendkívüli árhullámok statisztikai értelemben természetesek-e és a további gátemelés fenntartható megoldást jelent-e? Ez utóbbi különösen fontos, miután e módszer tartalékai kimerülni látszanak.

A kérdésre tudományosan megalapozott választ korábban nem tudunk adni (ennek igénye indukálta a kutatási programot), de több tényező együttes hatása valószínűsíthető: az éghajlatváltozás, a területhasználat módosulásai és a hullámtéri meder feliszapolódása.

Helyszíni vizsgálatok a Felső-Tiszán rámutattak arra, hogy a hullámtéren - évszázados léptékben - akár több méteres feltöltődések is megfigyelhetők, azonban a morfológiai változások és a hullámtéri növényborítottságnak a maximális vízszintekre gyakorolt hatása nincsen megfelelően feltárva (jóllehet a megfigyelt feltöltődések szignifikánsan befolyásolhatják a töltéskorona meghaladási valószínűségeit és a töltések tényleges árvédelmi biztonságát).

A válasz megadása azért is nehéz, mivel ma a Tisza vízgyűjtőnek csak egy része esik Magyarország területére: az árvizeket előidéző okok jelentős részben külföldi eredetűek. Valamely integrált szemléletű stratégia kidolgozása komoly módszertani kérdéseket vet fel, amelynek a megvalósítása Tisza-menti országok hatékony együttműködése nélkül aligha végezhető el.

A fentieket a tudomány és a technológia rohamléptű fejlődése, és a szemlélet változása is indokolja, amelyek lehetővé teszik a felmerült kérdések korszerű kezelését. Az utóbbi évek fejlődése a számítás- és mérés technikában, a távérzékelésben, továbbá általában az informatikában forradalmasították a hidrológiát. A korábban alkalmazott, túlnyomóan matematikai-statisztikai módszereket egyre inkább a fizika és a hidrodinamika egyenleteire alapozó modellek helyettesítik vagy egészítik ki, amelyek alapvetően építenek a nagy felbontású területi információkra.

A szemléletváltozással összefüggésben fontos megemlíteni a hangsúlyeltolódást a védekezésről a szabályozásra, a megelőzésre, a hosszú távon fenntartható megoldásokra és az ökológiai szempontok figyelembe vételére.

Az elmondottak tükrében és fenntartható szabályozási stratégiák kidolgozása érdekében a klasszikus - töltésekkel történő védekezési gyakorlat mellett - előtérbe kerültek, illetve kerülnek olyan alternatív megoldások, mint a véstározókkal történő árhullám csökkentés, tározók építése, továbbá a területhasználat és a mezőgazdaság jövőbeni valószínű változásait figyelembe véve a vízgyűjtő területen az árhullám tudatos levezetése. A szemléletváltozás fontosságát a hazai árvízvédekezésért felelős szakminisztérium is felismerte és kezdeményezte „A Vásárhelyi terv továbbfejlesztése” című programot, ami első lépésben a hazai beavatkozások meghatározására irányul. Természetesen bármilyen stratégiában is gondolkozunk, szem előtt kell tartani, hogy a hazai szabályozás nagymértékben a Tisza Kárpát medencében fekvő külföldi vízgyűjtőjén való történések és beavatkozások függvénye.

## 2. Célkitűzés

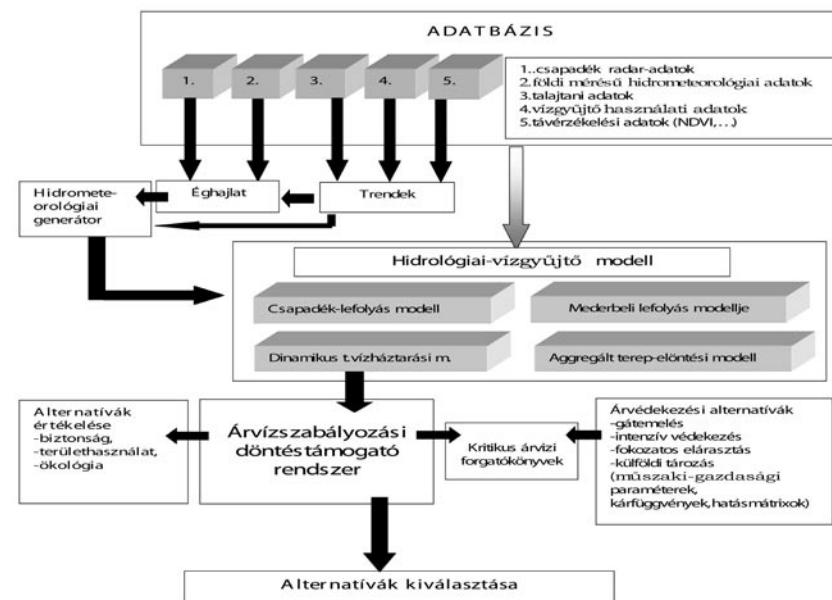
A tervezett kutatás - a rendelkezésre álló korszerű eszközök alkalmazásával és fejlesztésével - a felvázolt hiányosságok áthidalását kísérelte meg. Főbb célkitűzései az alábbiak szerint fogalmazható meg:

- (a) *A fenntartható árvízszabályozás tudományosan megalapozott koncepciójának kidolgozása a Tisza déli országhatár feletti vízgyűjtőjére, korszerű döntéstámogató rendszer kifejlesztése és alkalmazása alapján;*
- (b) *Az éghajlat- és a területhasználat változásainak, és a hullámtéri feltöltődések hatásainak vizsgálata a legnagyobb vízszintekre és egyéb árvízi paraméterekre;*
- (c) *A tiszai árvízvédelem jelen rendszerének felülvizsgálata és hozzájárulás „A Vásárhelyi terv továbbfejlesztése” című program megalapozásához;*
- (d) *Ajánlás kidolgozása a Tisza-Völgy „optimális” árvízi szabályozásához.*

### 3. Módszertan és a kutatási területek kijelölése

Vizsgálataink módszerét - a kitézött célokkal összhangban - a 3.1 ábra mutatja be. A kutatás főbb lépései és részterületei az alábbiak szerint:

- (1) Az első feladat a térinformatikai rendszerrel támogatott adatbázis létrehozása. Ez többek között tartalmazza a csapadék-radar adatokat, földi csapadékméréseket és egyéb hidrometeorológiai észleléseket, topográfiai, talajtani és területhasználati jellemzőket, ökológiai és természetvédelmi információkat, továbbá a kutatási programban részt vevő Vízügyi Igazgatóságok legkülönbözőbb, árvízvédelemmel kapcsolatos adatait és terveit.
- (2) A második lépés a mértékadó állapotok és forgatókönyvek meghatározását célzó hidrometeorológiai generátor előállítását. Ennek több hatást kell figyelembe venni, amelyek alapkutatást is igényelnek. A teljesség igénye nélkül csak néhányat sorolunk fel: (a) az eddig árvízi célokra nem használt, de rendelkezésre álló nyers csapadék-radar adatok kalibrálási módszerének a kidolgozása; (b) a területhasználati változásokból származó hosszú távú trendek becslése; (c) a hullámtéri mederfeltöltődés szerepének becslése különböző jellegű tiszai szakaszokra (kis, közepes és nagy feltöltődés) és (d) az előbbi hatások leválasztását követően a csapadékadatokban, és a tiszai hidrodinamikai modell felső peremértékét jelentő határszelvény-vízhozamokban jelentkező lehetséges éghajlati hatások elemzése matematikai-statisztikai módszerekkel (hosszabb távú és szezonális hatások, szélsőségek, különböző események egybeesési valószínűsége stb.). A kutatás végeredménye az időbeli és területi változásokat közelítően leíró „generátor” előállítását.
- (3) A hidrológiai-vízgyűjtő modell négy elemből (vagy modulból) tevődik össze (3.1 ábra). A csapadék-lefolyás modell - szemben az elterjedt gyakorlattal - finom felbontású topográfiai, csapadék, talajtani, növényzet stb. adatokra támaszkodva a kinematikai hullám egyenletét használja fel, azaz fizikai alapokon nyugszik. Ezt az alapkutatást igénylő, dinamikus talajvízháztartási modellel kapcsoljuk össze, hiszen gyakran belvízi és aszály-hatások is fontos szerepet játszanak valamely kritikus árvízi esemény „előéletének” kialakulásában. Szemben a mederbeli lefolyás ismert, egy- és két-dimenziós modelljeivel, szintén alapkutatást igényel a tervezési célú terep-elöntési modell kidolgozása (a számítás hatékonyságának növelése és a kis esésű területek esetében a hibaforrást jelentő nagy érzékenység kiküszöbölése céljából). Mindegyik modellkomponens független múltbeli adatokon alapuló kalibrálása és igazolása fontos feladat. Ezen túlmenően itt végzendő el a (2) hidrometeorológiai generátor ellenőrzése is: valamely valószínű (generált) jövőbeni eseményt ahhoz hasonló, múltbeli megfigyeléssel hasonlítunk össze.



3.1. ábra: A kutatás főbb lépései és részterületei

- (4) Az árvíz-szabályozási döntéstámogató rendszer alapvetően az előző szint modelljére épül, de azzal távolról sem egyenértékű. Így például (a) a koncepcionális tervezés igényeinek megfelelően felhasználó-barát; (b) lehetővé teszi az alternatívák beépítését és előállítását a jellemző léptéküknek megfelelően; (c) biztosítja a kritikus árvízi forgatókönyvek előállítását és figyelembe vételét Monte Carlo módszer keretében; (d) biztosítja továbbá ezek sokoldalú értékelését. Mindezt oly módon teszi, hogy nagyszámú változat hatékonyan elemezhető legyen.
- (5) Az alternatívák kidolgozása a kutatás-fejlesztésben részt vevő, érintett vízügyi igazgatósági szakemberek tudására, valamint a szakminisztérium és a környezetvédő „zöld” mozgalmak elképzeléseire támaszkodott. A variánsok főbb elemei (helytől függően): a gátak szintjének emelése, bizonyos védekezési szint felett a terület fokozatos és tudatos elárasztása a területhasználat várható változása függvényében (Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VTT)), tározási alternatívák és egyebek. Alapkutatási igényként jelentkezett a tározók tervezése, oly módon, hogy az figyelembe vegye a hidrometeorológiai események sokaságát, meghatározza optimális üzemelésüket, tározócsoport optimális megvalósítási sorrendjét. Ez az elv hosszú építési időtartam esetében is biztosítja, hogy a „rendszer” tartósan jól, maximális árvízi ha-

tékonyssággal működjön, figyelembe véve az ökológiai és vízminőségi szempontokat, a vízutánpótlási igényeket, az esetleges többcélú használatot, a társadalmi igényeket, a költségeket és a fizetési hajlandóságot.

- (6) Az alternatívák értékelését többszemponútú elemzés feladata. Ennek alapjául a költségeken túl az alternatívához rendelt fajlagos kárfüggvény szolgál, amely - számos tényező (az elöntések magassága és tartóssága stb.) függvényében - tartalmazza a városi-, mezőgazdasági-, természetvédelmi- stb. terület kárait. Minden koncepcionális alternatívára - a hidrometeorológiai generátor segítségével (3.1 ábra) - „lejátsszuk” valamely jellemző (hosszú) időszak árvízi történéseit és becsüljük a költségeket/károkat, nemcsak egy-egy véletlenszerű katasztrófa-eseményre, hanem az egyes alternatívákban „elképzelt” árvédekezési koncepció tervezési horizontjára.
- (7) Az utolsó lépés az alternatívák elemzése révén a tudományosan megalapozott, a hatások összességét is figyelembe vevő rangsorolás, és ajánlás készítése a jövő árvédelmi koncepciójára.

Az elmondottak egyúttal meghatározzák a kutatási cél elérése érdekében megvalósítandó főbb feladatokat is (lásd a 3.1 ábrát).

## 4. A kutatás szakmai és tudományos eredményei

### 4.1 Távérzékelésen és területi információkon alapuló adatbázis

A Tisza vízgyűjtőre vonatkozó árvíz-szabályozási döntéstámogató rendszer és koncepció alapját átfogó, részletes területi információt tartalmazó adatbázis képezi. Az adatbázis elemei a hazai vízgyűjtő területre többségükben rendelkezésre álltak (az ökológia és természetvédelem, továbbá a részletes tervek kidolgozásához szükséges helyi információk kivételt jelentettek). Ugyanez nem mondható el a külföldi (szlovák, ukrán és román) rész-vízgyűjtőkre: egyik célkitűzésünk a szükséges domborzati, talajtani, területhasználati stb. adatok beszerzése, majd a hazai információs rendszer elemeivel történő integrált adatbázis megvalósítása. Ez három tematikai egységre tagolódik: az ökológiai és természeti alrendszer olyan adatokat tartalmaz, amelyek kizárólag az árvíz-szabályozási alternatívák ökológiai és természetvédelmi értékeléséhez szükségesek. Ugyancsak ez a rendszer szolgál az alternatívák gazdasági elemzéseikhez szükséges mezőgazdasági és természeti kárszámítás alapjául. A hidrometeorológiai, hidrológiai alrendszer az elemzések hidrológiai és hidrodinamikai modelljeinek adatigényét elégíti ki, oly módon, hogy a döntéstámogató rendszer szimulációs modelljei számára is egyszerűen feldolgozható adatforrássul szolgáljon. A harmadik részfeladatot jelentő talajtani, területhasználati, morfológiai és tervezési alrendszer mindkét elemzés során felhasználást nyert. A negyedik részfeladat az

alrendszerek egységes rendszerbe történő integrálása volt. Az adatbázis kialakítása során nemzetközi együttműködések és társprojektek eredményeire támaszkodtunk.

#### 4.1.1 Ökológiai és természetvédelmi alrendszer

Ahogy a már a módszertani elvek ismertetéséből kitént, egyik célunk az árvíz-szabályozási módszerek környezeti és ökológiai hatásainak és kockázatának elemzése. Erre a célra felhasználtuk a NASA műholdjainak területhasználati térképeit, valamint olyan CORIN-alapú térinformatikai rendszert fejlesztettünk, amely a morfológiai, talajtani, és meteorológiai mező-információkat tartalmazó grid-formátumú térképekkel (grid: az információkat egy rácsalázaton tároló térkép) azonos felbontással és koordináta rendszerben készült.

Az egyes árvízi alternatívák elemzésekor a történelmi múlt növényzetborítottságának reprodukálása céljából felhasználtuk az országos katonai felmérések (az első ilyen közel 200 évvel ezelőtt végezték el) levéltári térképeinek digitalizált változatait, melyeket – mint a földrajzi információs rendszer külön fedvényeit – a fentebb ismertetett egységes GIS-alapú adatbázisban vontuk össze.

#### 4.1.2 Hidrometeorológiai és hidrológiai alrendszer

Az adatbázis földi meteorológiai állomások mért idősorait, továbbá 30" x 30" rácsfelbontású radarmérések és űrfelvételek eloszlás idősorait tartalmazza. Az adatbázis tartalmazza a modellezési feladatok bemenő „pontoszerű” meteorológiai adatait (csapadékösszeg, pillanatnyi-, és átlagos léghőmérséklet, párolgás, relatív páratartalom, összes sugárzás, hó vastagság, hóban tárolt vízkészlet stb.), másrészt mezőjellegetű információk összességét, mint például a 12 órás radarral mért csapadékösszegek. A kutatás keretében kifejlesztettük a radar adatok földi észleléseken alapuló kalibrálási módszerét is, ennek hiányában ugyanis a képek nem szolgáltatnak kvantitatív meteorológiai információkat.

Az alrendszer része a hidrodinamikai modellezés adatbázisa. Ez tartalmazza a folyómeder szelvényeit, töltés magasságokat, illetve hossz-szelvényeket, vízmércék alapadatait és történelmi vízállás-, vízhozam mérési adatait, vízhozam görbéket, a vízgyűjtő területen található víztározókra vonatkozó adatokat (vízszintek, leeresztett vízhozamok, tározási görbék stb.). Az adatbázishoz kapcsolódnak még a hó-, és belvízborítottság szatellit- és légi-felvételek is, valamint a vízgyűjtő terület talajvízszint észlelési kútjainak VITUKI adatbázisából beépített idősorai.

#### 4.1.3 Talajtani, területhasználati, morfológiai és tervezési alrendszer

Az alrendszer az alábbi - túlnyomóan az MTA TAKI-ban rendelkezésre álló, de fejlesztést igénylő - elemekből épül fel:

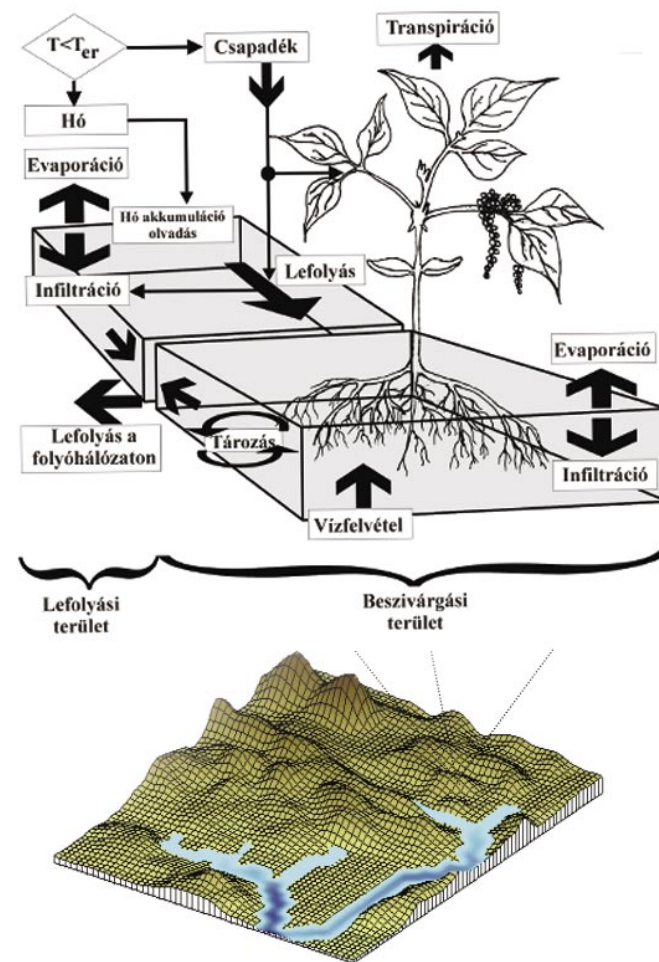
- A HunSOTER (Magyar Digitális Talajtani és Domborzati Adatbázis) 1:500 000-es léptékben a talajtani adatok mellett domborzati, topográfiai, talajvíz, földhasználati és meteorológiai adatokat tartalmaz.

- Az Agrotopográfiai adatbázis (AGROTOPO – MTA TAKI) 1:100 000 léptékű és a homogén agroökológiai egységekhez a termőhelyi talajadottságokat meghatározó főbb talajtani paramétereket (genetikus talajtípus, agyagásvány összetétel, kémhatás, mészállapot, talajértékszám stb.) tartalmazza. Az adatbázist nemzetközi együttműködés keretében kiterjesztették a Tisza külföldi vízgyűjtőjére is. Ehhez meglévő magyar-ukrán akadémiai együttműködést, valamint a SOVEUR (1:2 500 000 léptékű, SOTER (Digitális Talajtani és Domborzati Adatbázis) alapokon felépített, meglévő közép és kelet európai adatbázis) projekt keretében folyó nemzetközi együttműködést használtuk fel.
- A hazai vízgyűjtőre az adatbázis kiegészült a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszerrel amely a földhasználattal kapcsolatos döntések támogatására, illetve regionális-térségi szintű területhasznosítási és fejlesztési programok megvalósítására alkalmas. A kialakított adatbázis földrajzi mintázatot szolgáltató Átnézetes Talajismereti Térképein (1:25 000-es léptékben) a talajtani és az egyszerűsített földhasználati viszonyokat (művelt, illetve időszakosan vízállásos, vízjárta területek, erdők, tavak, nádasok, folyóvizek és települések stb.) bemutató információk érhetők el.
- A morfológiai adatbázis a Tisza-vízgyűjtő területének magassági eloszlását tartalmazza. Az adatbázis két különböző pontosságú rész-rendszerből épül fel, amelyek eltérő koordinátarendszert is használnak.: a NASA műholdas (földrajzi koordinátarendszerben elkészült) domborzati térképe kisebb, de a hidrológiai modellezés számára elegendő pontosságú, 30" x 30" rácsfelbontású alaptérképe, és a FÖMI által (EOV koordinátákkal) készített DDM-5 digitális domborzati adatállománya. A folyó hullámtereiének magassági információit a EUROSENSE DDM-5 (EOV) adatbázisa szolgáltatta. A folyóban történő árhullám levonulást leíró egydimenziós hidrodinamikai modellünk működéséhez a folyó kereszt-szelvényire volt szükség, ezért azokat a EUROSENSE DDM-5 elmszése alapján állítottuk elő. Ezt a keresztmetszeti adatbázist a Tisza felső szakaszaira a Vízrajzi Atlasz digitalizált völgy-szelvényeivel és az érintett Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóságok mederfelmérési eredményeivel egészítettük ki. Az adatbázis részeként elkészültek olyan segédprogramok (és szoftverek) is, amelyek a kereszt-szelvény adatok további – a modellezés számára alkalmas- feldolgozását elvégzik (pl. a vízszint függvényében a nedvesített felület, hidraulikus sugár stb. előállítás).
- A területhasználati, és vegetációs adatokat a NASA 30" x 30" felbontású szatellit térképeiről, míg a területi infrastruktúra alapadatait (utak és vasutak helyzete stb.) az OTAB 1:100 000 léptékű térképe felhasználásával nyertük. Az árvizek levonulása szempontjából kulcsfontosságú hullámterén az EUROSENSE ortofotóit használtuk a területi információ megszerzésére.
- Az adatbázis utolsó eleme, a térségi vízgazdálkodási és területfejlesztési tervek változatait és azok paramétereit (például a Vásárhelyi-terv fejlesztése

során tervezett vésztározók, töltések) tartalmazza és azt a helyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóságok (KÖVIZIG-ek) információ szolgáltatása alapján töltöttük fel.

#### 4.1.4 Integrált adatbázis

Az adatbázis-rendszer elemei a földrajzi léptékek több nagyságrendjét és a térbeli kiterjedés különböző módozatait (pontos adatok, mező-információk, vonalas létesítmények adatai) ölelik át. Az adatbázis integrálása annak a feladatnak a megoldását jelentette, hogy az egyes elemző eszközök (modellek) számára szükséges



1. ábra: Hidrológiai modell

formátumban és struktúrában biztosítsuk a bemeneti adatmezőket a Tisza vízgyűjtőjére. Ehhez nagy számú belső konverziós programot fejlesztettünk.

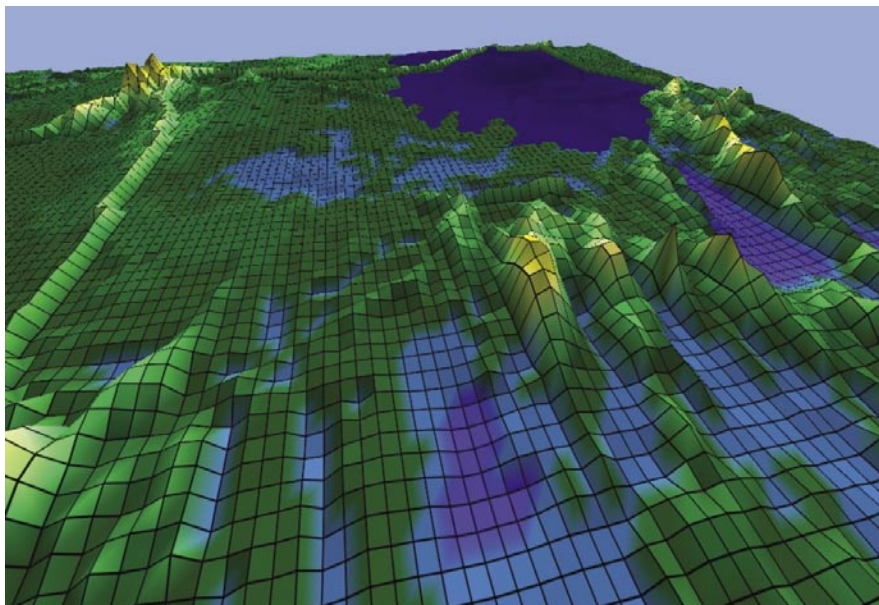
A részfeladat végtermékeként - a fentieknek megfelelően - felhasználóbarát szoftver készült, amely az elemző modellekkel együtt szoros egységben döntéstámogató rendszert alkot.

## 4.2 Mértékadó hidrometeorológiai forgatókönyvek

Az árvíz-szabályozási döntéstámogatás céljainak megvalósításához alapvető, hogy az egyes tervezett védekezési alternatívák várható következményeit reálisan leírt, kritikus körülmények között értékelhessük. Erre a célra a valósághoz statisztikus jellemzőiben hasonló („azonos”), mesterséges körülményeket (forgatókönyveket) kell generálnunk. Szükséges ezért a múltbeli meteorológiai adatmezők elemzése, a területhasználati és geomorfológiai hatások, továbbá a potenciális éghajlatváltozás következményeinek vizsgálata.

### 4.2.1 Meteorológiai adatmezők kalibrálása és statisztikai elemzése

Valóságos meteorológiai körülmények mesterséges előállításához nélkülözhetetlen a múlt statisztikus tulajdonságainak leírása. Esetünkben ez speciálisan mező (térbeli eloszlás) jellegű adatok vizsgálatát igényli, ugyanis – mint azt már vázoltuk



2. ábra: Terepi elárasztás hidrodinamikai modellje

– célkitűzésünk nagy térbeli részletességű, fizikai alapú hidrológiai modell kifejlesztése és alkalmazása volt. Ehhez létre kellett hoznunk a múlt valamely reprezentatív időszaka csapadék és léghőmérsékleti mezőinek adatbázisát.

A gyakorlati hidrológiai és egyéb igények kielégítéséhez elengedhetetlen volt a radaradatok javítása, a földfelszíni csapadékmérő állomások adatai alapján történő korrigálása. Az utóbbi évek kutatásai arra az eredményre vezettek, hogy használható, korrigált radaros csapadékadatokat nem a pillanatnyi, néhány perces időskálán értelmezett csapadékként, hanem sokkal inkább a több órás csapadékösszeg vonatkozásában lehetséges előállítani. A kutatás keretében, a jelenlegi reális lehetőségekre is tekintettel 12 órás csapadékösszegekkel foglalkoztunk, és alakítottunk ki kalibrációs módszertant.

### 4.2.2 Területhasználati és geomorfológiai trendvizsgálatok

A jövőre vonatkozó bármilyen árvíz-szabályozási forgatókönyvnek figyelembe kell vennie a területhasználat és a folyómeder geomorfológiai megváltozásának várható tendenciáit. Hipotézisek és a tapasztalatok arra utalnak, hogy különösen a Tisza ukrajnai vízgyűjtőterületén a megváltozott területhasználat és talajerózió befolyásolja a csapadék összegyülekezésének dinamikáját, valamint számos helyszíni vizsgálat alapján arra következtethetünk, hogy évszázados léptékben a hullámtér egyes helyeken akár 1-2 m-rel is feltöltődhetett (lásd korábban), valószínűen hasonló mértékű változást előidézve a legnagyobb vízszintekben.

Mindezekből adódóan vizsgálataink kiterjedtek a fenti hatásokból származó trendek megalapozott becslésére, térbeli változékonyságának meghatározására és a lehetséges következményekre.

Az elemzések több lépésben történtek. Először áttekintettük a Tisza-szabályozás kora óta bekövetkezett feliszapolódás okait, mértékét, és térbeli változékonyságát, elsősorban mérési eredmények alapján, majd matematikai (anyagtranszport) modell segítségével becsültük a tiszai hullámtér árvízi eseményekhez köthető feltöltődésének mértékét. A modell segítségével a folyó hazai szakaszán egy év alatt végbemenő feliszapolódás átlag- és szórás-értékeinek hossz-tengely menti eloszlását meghatároztuk. Ehhez saját fejlesztésű eszközt alkalmaztunk, az egy-dimenziós –a Saint-Venant egyenletre alapozott- hidrodinamikai modellre támaszkodva, amely egyszerűsített üledési részmodellt is tartalmaz. Számításaink alapján a Tisza hullámtérének hazai szakaszán az egy év alatt bekövetkező átlagos feliszapolódás 0,77 cm/év. A jelenség legintenzívebben a közép-tiszai régióban feje ki hatását, ahol a feltöltődés mértéke átlagosan 1,34 cm/év. Eredményeink az irodalmi adatokkal azonos nagyságrendbe esnek. A becsült adatok egyúttal lehetővé teszik a hullámtéri feliszapolódás jövőbeli hatásainak hosszú távú előrejelzését is.

Érzékenységvizsgálatok segítségével az egydimenziós hidrodinamikai modellel felhasználva, arra a fontos következtetésre jutottunk, hogy a meder feliszapolódása



az árvízszintek tetőzési értékeire a feliszapolódás mértékével azonos nagyságrendű hatást gyakorol, ezen túl pedig a trendjellegű változások megalapozásaként kimutattuk, hogy a feliszapolódási hatás (közel) lineárisan befolyásolja a tetőzési vízszinteket (tehát pl. a számított egyéves feliszapolódási hossz-szelvény két-, három-, négyszeres stb. változása a vízszinteket is két-, három-, négyszeres stb. módon befolyásolja).

#### 4.2.3 Az éghajlatváltozás hatásai. Meteorológiai adatgenerátor és mértékadó forgatókönyvek előállítás

Az éghajlatváltozás hatásainak sokoldalú elemezhetőségéhez –a múltbeli adat-sorok rövidege miatt - szükséges az éghajlat megváltozásának paramétereivel (is) működtethető szintetikus meteorológiai adatgenerátor és a vízgyűjtő-hidrologiai modell együttes használata.

Mind a csapadék, mind a hőmérséklet (napi szélsőértékei) sztochasztikus kapcsolatban áll a nagytérségű, illetve az ebbe ágyazódó, mező-leptéku légköri cirkulációs képződmények jellegével, intenzitásával. E képződmények statisztikus változottsága alapvetően befolyásolja egy adott térségben a lefolyás szélsőségeit.

Ehhez kapcsolódó meteorológiai feladat volt az, hogy először a jelen klímára vonatkozóan, tetszőlegesen sokszori ismétlésben biztosítsuk a csapadék 12 órás mezőinek szimulációját (csapadék-generátor). E szimulációtól elvártuk, hogy – különösen a nagy csapadékok vonatkozásában – helyesen adja vissza a részvízgyűjtőkre hulló csapadék kritikus mederbeli összetalálkozásának tényleges kockázatát az adott térségben.

Először a generátor megalapozásaként tiszai vízgyűjtőre eső csapadék statisztikai vizsgálatát végeztük el. A napi csapadékösszegek valószínűség-eloszlását vizsgálva a Felső-Tiszán, megállapítottuk, hogy azok másodfajú Pareto-eloszlást követnek.

Vizsgáltuk a napi csapadékösszegek egymásutánosságának eloszlását a Markov-láncok elmélete segítségével, a csapadékértékek tartományba (állapotba) sorolása alapján. Meghatároztuk az állapot átmenet valószínűségi mátrixot, és kihasználva a csapadékösszeg eloszlására tett megállapításokat, a csapadékösszeg szezonális változását is tükröző Markovi-generátort fejlesztettünk. A Markov-lánc alapú modell mellett vizsgálatot folytattunk ARMA modell alkalmazhatóságára is. Megállapítottuk, hogy a Markovi modell pontosabb eredményeket szolgáltat, de a fenti vizsgálatok eredményei elsősorban csak a területi átlagcsapadék mennyiségi alakulásának leírására használhatóak jól, amelynél a radar-adatbázisban rejlő térbeli információk kiaknázása nagyobb lehetőséget rejt.

A csapadékmező statisztikus szerkezetének modellezéséhez a nyíregyháza-napkori radar-állomás 1993 és 2002 közötti, 12 órás kalibrált csapadék-mezőit használtuk fel. A modellezés első lépése a térbeli szerkezet faktoranalízise volt. Megállapítottuk, hogy az egymástól 1-1 km-re eső 12 órás értékek között szoros a korreláció, vagyis a csapadékmezőkben vannak térbeli struktúrák. Ugyanakkor,

a csapadékképződmények élettartama és sebessége, valamint a 12 órás „vágási” idő viszonya okozta véletlenszerűség miatt, sem a faktoranalízisen, sem a faktorsúlyok cluster-analízisen alapuló tipizálás nem vezetett jól interpretálható, a modellezésben tovább hasznosítható eredményre.

Emiatt a mezők egymásutánosságában rejlő szabályszerűséget a kivágtat területi átlagai, mint autoregresszív folyamat segítségével próbáltuk megragadni. Ennek eredménye, hogy a 12 órás területi átlag, statisztikai értelemben, egyik évszakban sem független a megelőző félnap értékétől. Sőt, az ősz kivételével, a másik három évszakban a 24 órával korábbi érték is független információként pontosítja az adott területi átlagot. További tapasztalat, hogy az autoregresszív kapcsolatok (meteorológiai értelemben a hosszú élettartamú frontok, frontcsaládok átvonulásának, illetve ismétlődő konvektív instabilitásnak a statisztikus megnyilvánulásai) tovább pontosíthatók a nem zérus területi átlagok három kategóriás diszkrét modellezésével. A szimuláció (ill. generátor) alapja tehát három egymást követő területi csapadékatlag 3+1 lehetséges állapotának (sok, közepes, kevés ill. száraz) együttes „kisorsolása”. E modellezés a pontszerű időjárás-generátorokban alkalmazott csapadék-állapot szimuláció általánosításának tekinthető.

A továbbiakban elemeztük az éghajlatváltozásra vonatkozó előrejelzések módszertani alapjait, és eredményeit, térségünkre, és elsősorban az árvíz-kialakulás szempontjából fontos hidrologiai paraméterekre (csapadék, hőmérséklet). Ez alapján kialakítottuk a csapadék-generátor, klímaváltozást is tükröző módszertanát:

Az IPCC 2001. évi Harmadik Értékelő jelentésében felhasznált 17 globális klíma-modellt felhasználva, először kiszámoltuk, hogy mennyivel változik a csapadék átlaga, illetve a napi összeg szórása a radar által lefedett területen. Ezeket az eredetileg a hagyományos évszakokra meghatározott számokat ezután előbb havi értékekre interpoláltuk, majd a havi értékekből a négy radar-csapadék évszakra vontuk össze.

A fentiek alapján olyan eszközhöz jutottunk, amelynek a segítségével tetszőleges hosszúságú – a mai, vagy az éghajlatváltozást is tükröző jövőbeni meteorológiai (térbeli eloszlás) -idősorok kiszámíthatóak, és a hidrologiai modell (lásd következő pont) bemeneti adataként felhasználhatóak.

A magas hegyi (külföldi) vízgyűjtőn a csapadék és lefolyás kapcsolatát hidrologiai modellel (első modell-szint), az alföldi (csekély hozzáfolyással jellemezhető) területen a sekélyvízi hullám levonulását nem-permanens egydimenziós hidrodinamikai modellel (második modell-szint) írjuk le. A két modellt összekapcsoltuk. A fentiekből következik az, hogy ha a hidrologiai modellel, a szintetikus meteorológiai adatsorokra adott vízhozamválaszt számszerűsítjük, akkor a két modellezési szint szekvenciális (elkülönített) működtetése is lehetséges.

#### 4.3 Hidrológiai-vízgyűjtő modell

A hidrologiai-vízgyűjtő modell rendszer négy rész-modellt integrál, amelyek segítségével a vízgyűjtő területen az árhullámok keletkezésével és levonulásával kap-

csolatos hidrológiai/hidrodinamikai, illetve vízháztartási kérdések megválaszolhatók. A rész-modellek alkalmazását a lejátszódó jelenségek összetett volta indokolja: lényegében a problémát a peremfeltételek megfelelő megválasztása révén hidrológiai és hidrodinamikai rész-feladatokká dekomponáltuk (lásd korábban).

#### 4.3.1 Csapadék-lefolyás modell

A kifejlesztett modell - a csapadék-lefolyást nagy térbeli finomsággal írja le. A vízgyűjtőt numerikus „cellákra” bontottuk fel (30” x 30” ), amelyeket a vízgyűjtő morfológiájának megfelelően meghatározott (a lefolyás irányát kijelölő) összegyülekezési hierarchia (gráf-rendszer) kapcsol össze. E leírás alapja a morfológiai modell ill. a cellákról a szomszédos elemek irányába történő lefolyás meghatározási módszere.

A cellák mindegyikére vízháztartási mérlegegyenletet írunk fel, amelynek összetevői a hidrológiai körfolyamat egyes elemeit jellemzik, fizikailag megalapozott egyenletek alapján. Nagy hangsúlyt kap a beszivárgás és a lefolyás folyamatának helyes matematikai leírása. Az előbbi a háromfázisú zóna nedvesség-transzportját leíró, diffúziós Richards-féle egyenlet egyszerűsítésén, míg a lefolyás a kinematikus hullám, illetve a felszínnel párhuzamos vízmozgásra felírt Richards-egyenlet nemzetközileg is újszerűnek számító közelítésén, és kombinált alkalmazásán alapul.

A modell finom térbeli felbontása lehetővé tette azt, hogy az egyes almodellekhez bemenetként a hidrológiai ciklus elemeihez kapcsolódó és radar, műholdas és egyéb (pl. szintetikus) adatokat használtunk fel. A csapadék-lefolyás modell eredménye a Tisza-folyó és mellékfolyók határszelvényeiben megjelenő vízhozam számított idősora, amely egyben bemeneti adata is a modell-rendszer következő rész-vízgyűjtő elemének (3.1 ábra).

#### 4.3.2 Mederbeli vízmozgás hidrodinamikai modellje

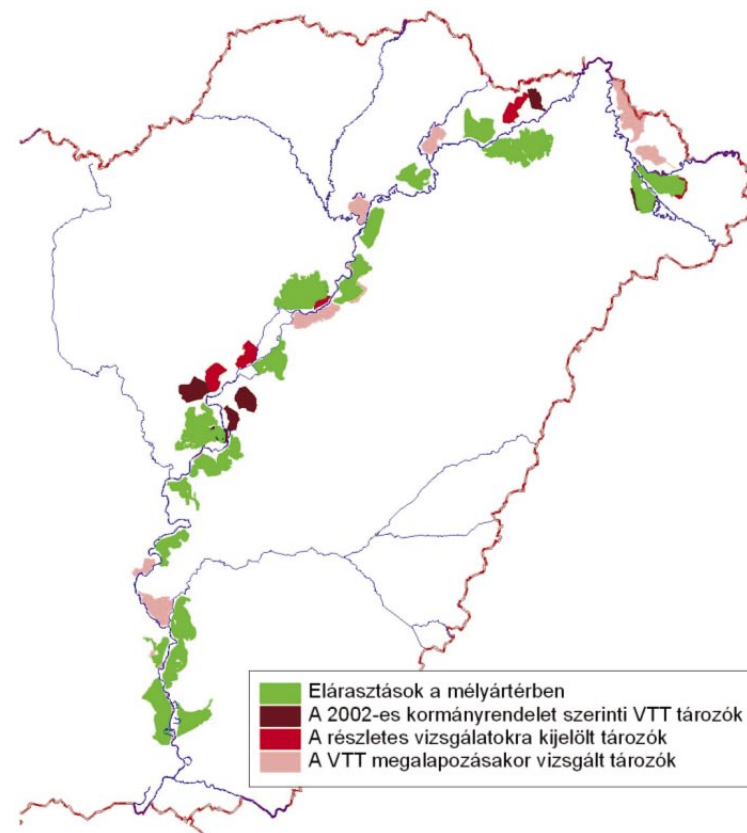
A mederbeli vízmozgás leírása - a medersúrlódás meghatározásától eltekintve - általánosan elfogadott modell, a nem-permanens vízmozgás egydimenziós Saint-Venant egyenletének használatán alapul, amellyel kapcsolatosan számos kérdés kezelése különös gondosságot igényelt. Ezek között említhető a hullámtér és a főmeder hidrodinamikai kapcsolatának meghatározása, a hullámtéri növényzetnek a medersúrlódásra gyakorolt hatása a peremfeltételek közelítése (mellékvízfolyások, töltésszakadások, leürítő műtárgyak, alvízi erőművek stb.), hatékony numerikus megoldási módszer alkalmazása és a használható kalibrálási eljárás kifejlesztése.

A végtermék az egész magyarországi Tiszára kifejlesztett egyszerűsített vagy aggregált 1D hidrodinamikai modell. Ehhez a klasszikus Saint Venant egyenleten alapuló modellt használtuk a főfolyóra, amelyhez a mellékfolyókat kaskád modellel kapcsoltuk (ennek paramétereit a vízszintmérések alapján kalibráltuk). Az ily módon levezetett, gyors modellt az alternatívák vizsgálatára használtuk. A közelítés fő motivációja nagyszámú tervezési, árvízszabályozási variáns vizsgálata un. Monte

Carlo szimulációkkal párosítva, amely a megszokott módon, a számítási időigény miatt szinte lehetetlen feladat lenne. A modellt történelmi árvízi adatok alapján sikeresen kalibráltuk, és igazoltuk.

#### 4.3.3 Terep-elöntés kétdimenziós hidrodinamikai modellje

Bármilyen árvédelmi stratégia hatásának elemzésére vállalkozunk is, mindenképpen szembekerülünk a töltést esetleg meghaladó, átszakító, vagy a terepre szándékosan kivezetett árvizek terjedésének problémájával. A terepen áramló víz sebessége és a vízmélység tér-, és időbeli változása a hidrodinamika jól ismert sekélyvízi (mélység-integrált) hullám-modelljével írható le, lényegében azonos módon, mint a sekély tavak áramlása. A szabálytalan morfológiát és a peremfeltételeket figyelembe véve csak numerikus megoldás jöhet szóba, amelynek az esetenként előforduló nagy szimulációs időigény miatt nagyon gyorsnak kell lenni.

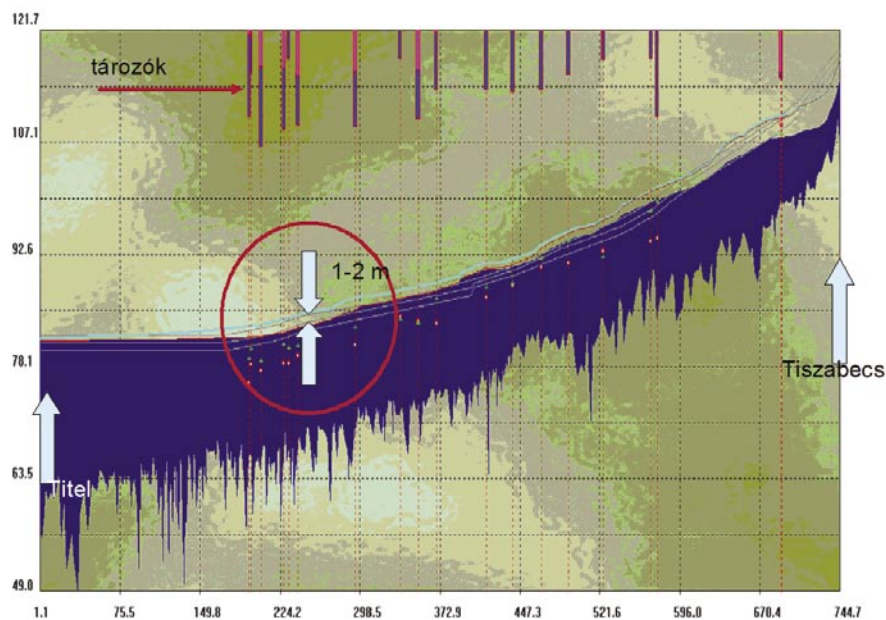


3. ábra: Tározási alternatívák

A tiszai kétdimenziós modell, amelyet a természetes mélyárterek elárasztási vizsgálataiban, tájhasználatváltást (az árvízvédelemmel együtt komplex területhasználás) megalapozó vízkormányzási elvek kialakításánál és a katasztrófa számítások során is alkalmaztunk, az egész Tisza-völgyre elkészült.

A terepi elárasztások természetesen befolyásolják az adott térség vízháztartását, a párolgás és a beszivárgás révén a tartósan elárasztott területek kiterjedése is módosul - azaz a felszíni vízmozgás és a felszín alatti hidrológiai folyamatok összekapcsolódnak. Ezért kombináltuk a párolgás, a beszivárgás és a terepi elárasztás hidrodinamikai modelljeit, hogy a fontosabb folyamatokat együttesen kezelhessünk. Így jött létre a terepi elárasztás aggregált modellje.

A kisebb vízutánpótlódással járó „szelid árasztások” vizsgálatoknál, ismertük fel a kétdimenziós hidrodinamikai modellek nagy fogyatékoságát: a terepen lévő vápák, csatornák (egydimenziós objektumok) a terep elárasztási folyamatokat alapvetően befolyásolhatják. Ugyanis a sekélyvízi hullám terjedése a vízmélység négyzetgyökével arányos, tehát a nagyobb mélységű csatornában a víz nagy sebességgel (a terepakadályokat is megkerülve) messzire eljuthat. Ezen objektumok hatását a kétdimenziós modell nem tükrözi vissza, a valóságtól eltérő számítási eredményeket ad.



4. ábra: Tározási hatás a tetőzési szintekre a Tisza hossz-szelvényében

A fejlesztés során alapkutatást igényelt ezért olyan modell megalkotása, amely az egydimenziós hullámegyenlet, és a terepi vízmozgás kétdimenziós modellje algoritmikus egyesítését célozza (aggregálja). A hazai és nemzetközi irodalomban is újszerű modellt a Cigándi-tározó tájgazdálkodását megalapozó vízkormányzás tervezését bemutató esettanulmányban láthatjuk.

#### 4.4 Árvíz-szabályozási döntéstámogató rendszer

Az árvíz-szabályozási döntéstámogató rendszer a kutatás modellezési szintjére épült (3.1 ábra), de annál funkcionálisan lényegesen többet ajánl. Így például

- a koncepcionális és stratégiai tervezés igényeinek megfelelően a modelleket és a területi információkra építő adatbázist felhasználó-barát szoftver keretbe integrálja;
- biztosítja az árvíz-szabályozás műszaki alternatíváinak előállítását és beépítését azok jellemző léptékeinek megfelelően;
- lehetővé teszi a kritikus árvízi forgatókönyvek előállítását és figyelembe vételét Monte Carlo módszer keretében, a hidrometeorológiai generátor segítségével;
- fontos elemző módszereket tartalmaz a modellek kalibrálására, igazolására, érzékenységi- és bizonytalansági vizsgálatára;
- támogatja a nagyszámú változat hatékony elemzését, összehasonlítását és a legmegfelelőbb variáns(ok) kiválasztását;
- elősegíti az eredmények interaktív, GIS eszközöket is alkalmazó megjelenítését.

A fentieket két egymással összefüggő részfeladat keretében oldottuk meg:

- Az adatok, a generált idősorok és a megfelelően általános peremfeltételek között megfogalmazott vízgyűjtő-hidrológiai-hidraulikai modellek összevonását olyan, a vízügyi szolgálat szakemberei számára is egyszerűen használható szoftverrendszerbe, amely a fenti kérdések elemzését a gyakorlat számára szükséges és elégséges mélységben teszi lehetővé, a Tiszától eltérő hazai vízgyűjtőkre is;
- Az adatok, a modellek, és az ezeket integráló szoftver tesztelése és alkalmazásának igazolása.

A döntéstámogató rendszer elkészült, alkalmazására számos példa van, mára a hazai árvízi problémák operatív eszköze lett (lásd még 5. pont).

#### 4.5 Árvíz-szabályozási alternatívák

Vásárhelyi eredeti Tisza-szabályozási terve az árterületek védelmét alapvetően a töltésekre bízta. Ahogyan már a bevezetésben utaltunk rá, a terv megvalósításának befejezése - azaz a huszadik század eleje - óta a töltések korona szintjeit gyakorlatilag folyamatosan emelni kellett. A hullámtéri geomorfológiai vizsgálatok alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy az évszázados léptékben helyenként a két métert

is meghaladó feliszapolódás olyan árvízszint emelkedési trendet okoz, amelyet nem lehetséges (vagy nem célszerű) gátemeléssel követni. Ehhez a trendhez adódnak az éghajlatváltozás és a területhasználat feltételezett hatásai is. Összességében mindezek szükségessé teszik, hogy a gátemelésen túl egyéb szabályozási lehetőségeket is feltárjunk és a tervezést megalapozó kutatásokat végezzünk.

#### 4.5.1 Árvíz-szabályozási alternatívák kidolgozása

Az eddigi elemzések és szakmai viták alapján a nagy térségi árvíz-szabályozási koncepció kidolgozásánál három eszköz alkalmazása jöhet szóba (a hazai Tiszavölgyre vonatkozó Vásárhelyi-terv nemrégiben megkezdett továbbfejlesztésénél is alapvetően ezekre alapoztak: (a) a tradicionális töltésemelés, (b) szabályozott vízkivezetéssel és tározással történő vízszintcsökkentés, (c) a nagyvízi meder vízszállító képességének javítása. Ezek a módszerek a Tisza vízgyűjtőn, helytől függően természetesen igen sokféle kombinációban alkalmazhatók. Ennek megfelelően nagy számú alternatív tervek dolgozhatók ki.

A tervezett kutatás keretei között, a számításba jövő alternatívák kijelölésekor felhasználjuk a már megkezdett Vásárhelyi-terv-továbbfejlesztés javaslatát és tapasztalatait. Egyúttal azonban lényegesen több tervek variánsát állítottunk elő, a költségek becsülésével együtt a hazai vízgyűjtő területre, továbbá - ha nem is azonos részletességgel - az alternatívák fejlesztésébe bevontuk a külföldi területeket is.

A lehetséges tározótér helyek kijelölésénél felhasználtunk korábbi geomorfológiai vizsgálatokat, amelyek a szabályozás előtti Tisza-medret tárták fel és módot nyújtanak a tározási és vízkormányzási stratégia újragondolására. Szintén felhasználtuk az Alföldre felépített nagy részletességű morfológiai modellünket.

Részletes kutatással feltártuk az egész Tisza-völgy potenciális „természetközeli” elárasztási helyeit (a mellékfolyók kivételével). A Tisza jobb ill. bal partján módszeresen végighaladva vizsgáltuk a morfológiai szempontból alkalmas területeket. Összesen 19 olyan mélyárteret találtunk, melynek elárasztása érdemi mértékű vízszintcsökkenést eredményezne. A legalább 50 millió m<sup>3</sup>-es tározási kapacitással bíró mélyártereket vettük figyelembe, a legnagyobb tározási térfogat a 200 millió m<sup>3</sup>-t is meghaladja. Az általunk figyelembe vett mélyárterek tározási összkapacitása meghaladja a 2 milliárd m<sup>3</sup>-t. A mélyárterekben történő tározás vízszintcsökkentő hatását a Saint-Venant egyenleten alapuló 1D hidrodinamikai modell alkalmazásával számítottuk történelmi árvízi eseményekre. Általában a mélyárteres árasztás megtervezése nem egyszerű feladat. Vizsgálni kell a vízutánpótlás mennyiségi és időbeli feltételrendszerét, a helyi vízvezető csatornahálózat hatását, és a vízkormányzás alternatíváit.

#### 4.5.2 Tározók tervezési módszereinek fejlesztése

Önmagában valamely egyedülálló tározó méretezése sem egyszerű feladat és valószínűségi módszerek alkalmazását igényli. A helyzet sokkal bonyolultabb, amennyiben

nyiben több, tározót magában foglaló tározócsoporthoz kell terveznünk a lehetséges hidrológiai események sokféleségének figyelembe vételével, oly módon, hogy például optimalizáljuk a költségekkel, károkkal, lehetőségmulasztással, ökológiai hatásokkal stb. kifejezett célfüggvényt a vízszintekben kifejezett korlátozó feltételek teljesülése mellett.

A tározók tervezése tehát alapvetően igényként jelentkezett. Ennek, a már felsorolt tényezőknél túl figyelemmel kellett lennie a vízminőségi és természetvédelmi szempontokra, a kívánatos vízutánpótlásra, az esetleges többcélú használatra és a társadalmi igényekre, a fizetési hajlandóságra és a biztonságos üzemelés feltételeire. Értelmezésünkben csak olyan tározás tekinthető tervezési alternatívának, amely ezt a feltételrendszert kielégíti.

A fentiek azt vetítik előre, hogy a tározó-méretezés iteratív eljárást igényel, amely valójában az alternatív tervek végső értékelésével fejeződik be (3.1 ábra).

A tározó-tervezést (és módszertani fejlesztést) két lépésben hajtottuk végre:

-Először alapvető feladat keretében az aggregált Tisza-völgyi hidrodinamikai modell segítségével elemeztük egy magányos tározó optimális üzemrendjének alapelveit a hidrológiai események szélső értékeire és sokféleségére. Ez utóbbi esetben felhasználtuk a statisztikus vízhozam-generátor által előállított szélsőséges hidrológiai helyzeteket is.

Megállapítottuk, hogy egy tározó maximális vízszintcsökkentési hatása szignifikánsan függ az üzemelés rendjétől: Optimális vízszintcsökkentés előnyitással érhető el. Ez azt jelenti, hogy a tározó feltöltését az árhullám lokális (tározó szelvényben történő) tetőzése előtt meg kell kezdeni. Optimalizációs eljárás alkalmazásával megmutattuk, hogy az előnyítés időelőnyét hogyan lehet a tározó méretek és a műtárgykapacitás ismeretében meghatározni. Ez az eredmény utal az üzemirányításhoz szükséges előrejelzés jövőbeni fejlesztési feladataira is.

A továbbiakban azt vizsgáltuk, hogy tározó-csoportok optimális működtetése hogyan valósítható meg. Vizsgálataink szerint a szuperpozíció elve jó közelítéssel alkalmazható: azaz a magányos tározókra levezetett „optimális” működés összegzett hatása megadja az optimálisan működő tározó-csoport hatását.

-A tározó-tervezés második lépésében a lehetséges tározási alternatívákat a hatás szempontjából rangsoroltuk. Itt abból indultunk ki, hogy a Tisza-völgy új árvíz szabályozási rendszerének megvalósítása minden bizonnyal hosszú időt vesz igénybe. Ha azonban a hatás szempontjából rangsorolt tározók sorrendjében valósul meg az új rendszer, akkor építése és funkcionálása alatt mindig az optimumpontra működik.

#### 4.6 Az alternatívák értékelése

A hazai és nemzetközi szakmai gyakorlat az árvédelmi művek biztonságát a kockázat-elemzés módszertana segítségével elemzi. E módszer az ún. mértékadó árvízszint fogalmához kapcsolódik, amely a biztonságot jellemző döntési változó. Értéke

a társadalom fizetési hajlandóságán alapul. A kockázat nem más, mint a mértékadó árvízszint várható előfordulási gyakoriságának és az ezt meghaladó vízszintek esetén keletkező kárnak a szorzata, tehát a kár adott valószínűségi értéke (a múltbeli statisztikán alapuló paraméter). Az alkalmazott módszertan egyszerű, robosztus és a tradicionális „árvízvédekezésre” kielégítően használható. Ugyanakkor az általunk javasolt átfogó árvízszabályozás részletesebb és finomabb eljárások alkalmazását kívánja meg. Ennek okai a következők:

- (i) *A klasszikus módszer a védekezés „mértékéhez” rendel fejlesztést és hallgatólagosan egyetlen védekezési alternatívában gondolkodik;*
- (ii) *Nem veszi figyelembe a kárt kiváltó véletlen események tervezhetőségét;*
- (iii) *Elhanyagolja a kárt kiváltó statisztikai esemény (az árvíz) és a beavatkozási alternatíva az élettartam (vagy tervezési időhorizont) alatt változó kölcsönhatását (például az eseménytől függően lejátszódó hullámtéri feltöltődés);*
- (iv) *Nem vizsgálja a „védekezési terv” megtérülésének valószínűség-eloszlását. Mint már több kutató rámutatott, valamely tervet nem jellemez kielégítően a megtérülés várható értéke. Többféle alternatívát feltételezve - szemben a klasszikus módszerrel - szinte kizárt, hogy minden véletlen eseménysorozatra ugyanaz az alternatíva bizonyulna „optimálisnak”;*
- (v) *Az árvizek által okozott hatások (például időszakos területi elárasztások) természeti értékekre gyakorolt kockázata esetleg ellentétes értelmű, mint a társadalom biztonsági igénye, azaz a fizetési hajlandóság önmagában nem elégséges a megítélésre;*
- (vi) *Nem vizsgálja a terv megtérülésének bizonytalanságait, pedig számos ilyen hatás található. Magának a mértékadó szinteknek a statisztikai meghatározási módszere is bizonytalan, de az esetleges éghajlatváltozás hatása, a vízgyűjtőhasználat módosulása, a térség mezőgazdasági művelésének jövőbeli alakulása, az infláció, a társadalom jövőbeni fizetési hajlandósága stb. mind-mind bizonytalan tényezőt jelent.*

A fentieket figyelembe véve olyan Monte Carlo eljárás alapuló gazdasági elemzési módszert fejlesztettünk, amely figyelembe veszi az alternatíva kiválasztás során fellépő bizonytalanságokat, és a természeti értékek, valamint a társadalom biztonsági igényeinek sokrétű konfliktusait. A részletesen belül a következő feladatok elvégzése szükséges: (a) a döntési bizonytalanságokat kifejező gazdasági elemző módszer fejlesztése, (b) az árvízi szabályozás természeti hatásainak becslése és ezek beépítése az előző módszerbe, végül pedig (c) módszer fejlesztése a sokoldalú konfliktusok kezelésére.

#### 4.6.1 Szimulációs hibrid módszer fejlesztése

A módszer azon az elven alapul, amely szerint az alternatívák közötti választás „minősítési folyamat”, amely során minden alternatívára – a hidrometeorológiai

generátor segítségével – szimuláljuk a tervezési időhorizontot jellemző hosszú időszak árvízi történéseit és számítjuk a költségeket, illetve a károkat. A kár-meghatározás alapját szakértői becslések és statisztikai elemzések segítségével meghatározott kárfüggvények szolgáltatták. Ezek elemei a mezőgazdaságot befolyásoló elöntések magassága és tartóssága, a művelési ág függvényében meghatározott fajlagos károk, a település nagyság és az építési mód alapján az elöntési paraméterektől függő építési károk. Hasonló függvények fogalmazhatók meg az infrastruktúrát érintő, az emberi életet befolyásoló hatásokra, az állatállomány veszélyeztetettségére és más tényezőkre.

A természeti értékek (és azok változásai) meghatározásának alapja a hatások mértékének (például a társulás területi eloszlásai) számszerűsítése. Ezt követően levezettük a természeti változásokhoz rendelhető gazdasági hozamokat.

Minden alternatívához és hidrometeorológiai „realizációhoz” költségeket (építési, fenntartási, védekezési stb.) is rendelünk, illetve a szimuláció segítségével számítjuk a költségek idősorát.

A Monte Carlo szimulációhoz tartozó károk és költségek nyilván a hidrometeorológiai generátor által előállított szintetikus bemeneti adatsortól és a hidrológiai „vízgyűjtő-válaszoktól” függenek. Az egyes idősor realizációkra és alternatívákra meghatározott kár-költség idősorok összehasonlítása több módon is lehetséges.

Az árvízvédelem egyik klasszikus formája a közösségi szolgáltatásoknak, amelyet a társadalom közös erőfeszítéssel, összefogással tud csak véghezvinni. Ezért természetes, hogy ez egy állami feladat. Elfogadott, szinte minden országban, hogy az állami erőforrások ráfordításának az optimalizálásához költséghaszon-elemzést alkalmaznak. Ez a fő döntéselőkészítő módszertan.

A költséghaszon-elemzés általános jellemzői a következők voltak:

- *Élesen meg kell különböztetni a költségeket és a hasznokat. A hasznok alapja a fizetési hajlandóság, tehát az az érték, amit egy megadott jószágért ennek élvezői vagy fogyasztói érte fizetni hajlandók.*
- *A költségeket úgy szokás meghatározni, mint a használdozat, illetve az alternatív költség. Tehát vagy erőforrást, vagy jószágot igénybe veszünk egy megvalósítandó projektben. Ennek az elkönnyvelhető költsége nem más, mint az a haszon, amit ez a jószág vagy erőforrás kitermelt volna valamilyen már alkalmazásban.*
- *A költséghaszon-elemzésben az átruházások (transfer) nem játszanak semmilyen szerepet. Ezért nem szabad semminemű adóval, vagy dotációval számolni a költséghaszon elemzés során. Ezeknek a hatását a költségekre és az árakra ki kell szűrni, mielőtt a költséghaszon-elemzési számításokat elvégeznénk.*
- *A költségeket és hasznokat állandó vásárlóerejű pénzegységben kell kifejezni, tehát az infláció hatását ki kell szűrni.*

- A különböző időpontokban adódó nettó pénzáramlásokat (a különböző időpontok hasznából levonva ugyanazokban az időpontokban adódó költségeket) jelenértékre kell hozni. Mivel a jelenérték-számítás önmagában az alkalmazott diszkontláb kamatját hallgatólagosan hozzáteszi a költséghez, magukban a pénzáramlásokban nem szabad, hogy kamatköltség szerepeljen.
- Ha olyan alternatívákat kell egymással összehasonlítani, amelyeknek beruházási költségeik lényegesen eltérnek egymástól, akkor a jelenértékek önmagukban nem alkalmasak az összehasonlításra, hiszen ilyenkor inkább egy fajlagos mércét kell alkalmazni. Olyan, mint például a költséghaszon-hányados, vagy a nettó jelenérték elosztva a beruházások jelenértékével.

A vizsgálatba beemelt hatások (kárkomponensek):

*Károk az ingó és ingatlan vagyonban;*

*Ipari termelés érintettsége;*

*Mezőgazdasági területeket érő hatások;*

A vizsgálatunk során azokat a forgatókönyveket (védekezési alternatívákat) hasonlítottuk össze, amelyek figyelembe veszik a hullámtéri feltöltődés folyamatát és a klímaváltozás feltételezett hatásait is. Azért választottunk ezeknek a feltételeknek megfelelő variációkat, mert ez eredményezi a kárértékek legnagyobb különváltását.

A vizsgált scenáriók a következők:

1. MÁSZ+0 - alaphelyzet
2. Mélyártéri árapasztás MÁSZ+0 töltés szint mellett
3. VTT 6 tározós változat MÁSZ+0 töltés szint mellett
4. VTT11 tározós változat MÁSZ+0 töltés szint mellett
5. Töltés emelés MÁSZ+0,5 méteres szintre
6. Mélyártéri árapasztás MÁSZ+0,5 töltés szint mellett
7. VTT 6 tározós változat MÁSZ+0,5 töltés szint mellett
8. VTT11 tározós változat MÁSZ+0,5 töltés szint mellett
9. Töltés emelés MÁSZ+1 méteres szintre
10. Mélyártéri árapasztás MÁSZ+1 töltés szint mellett
11. VTT 6 tározós változat MÁSZ+1 töltés szint mellett
12. VTT11 tározós változat MÁSZ+1 töltés szint mellett

A részletes közgazdasági elemzés mellett minden lehetséges hatás (hullámtéri feltöltődés, éghajlatváltozás) és beavatkozás (töltésemelés, tározási változatok, mélyárteres elárastás)

kombinációjára számítottuk a Bayes-i értelemben definiált kockázatot, és a károk empirikus sűrűségfüggvényét.

A költség-haszon elemzés szempontjából az árvízvédelem sajátja, hogy hasznokként a károk kockázatának csökkenését tekintjük. Ezért a fizetési hajlandóság természetesen nem független az érintettek kockázathoz való viszonyulásától. Az államnak, összvagyonának nagyságát figyelembe véve kockázat-semleges magatartást kell követnie. Ez azért van így, mert a valószínűleg előforduló károk az állami összvagyonhoz képest elenyésző méretűek. Ennek következtében észszerű kockázattal szembeni feltételezések mellett gyakorlatilag úgy viselkedik a döntéshozó, mint aki kockázat-semleges. A kockázattal szembeni semlegességet úgy határozzuk meg, hogy csupán a károk várható értéke érinti, nem pedig annak a szórása. Ez az egyik legfontosabb érv, ami amellől szól, hogy az elemzés kiértékelése során, a károk és kárelkerülési költségek összegének jelenértéken kiszámított várható értékét kell figyelembe venni. Optimálisnak tekinthető a minimális nagyságot biztosító változat.

Az érintett lakosság, ellenben, nem olyan vagyonos, mint az állam. Tehát az ő esetükben a kárelhárításért való fizetési hajlandóság mindenképpen meg fogja haladni a károk jelenértékét. Ennek következtében az látható, hogy bizonytalan károkkal szemben az optimális társadalmi védekezés két részből áll. Egyrészt közös erőfeszítéssel (tehát az állam szerepvállalásával) az optimális, közösen elvégezhető kármegelőzési intézkedéseket el kell végezni, míg a magánszférára kell hagyni a magánszférában elvégezhető kármegelőzési tevékenységeket, úgymint az optimális védekezés után fennmaradó károk a kockázatának a csökkentését biztosítási szerződések által.

Ebből tehát az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- Az alternatívák kiértékelésénél a fő szempont a károk, és a kármegelőzési költségek várható jelenértékének minimalizálása.
- Csak azokat a károkat szabad ebben a fenti számításban figyelembe venni, amelyeket a magánszféra nem tud észszerűen, saját hatáskörén belül kikerülni. Tehát a számításban azt kell feltételezni, hogy a magánszféra ezt megtette.
- Végül mindenképpen hozzá kell adni azt, hogy semmiképpen sem érdemes védeni valamit olyan áron, hogy az meghaladja a védendő objektum értékét. Az ilyen esetek irracionálisak, bár elképzelhető, hogy fennmaradtak a múltból, és egyfajta szerzett jogként az ilyen ingatlanok, vagy értékek tulajdonosai elvárják a védelmet. Ez politikai kérdés. Ha szükséges, ilyenkor érdemes kivásárolni, vagy kisajátítani azt a tulajdont, kellő kompenzáció mellett, hiszen ez olcsóbb, mint az értéken felüli védekezési költség.

Mivel a károk és a ráfordítások a szimulált időszak különböző szakaszaiban jelentkeznek, vizsgáltuk az eredmények robusztusságát a jövőbeli hatások fontosságának figyelembevétele szempontjából, különböző leszámítolási ráták (1%, 3%) alkalmazásával.

Kidolgoztuk a kárszámítás térinformatikai rendszerre alapozott módszertanát és egy mátrixban (ennek oszlopai a komponensenkénti bontást (települési, ipar, mezőgazdasági kár), sorai pedig a katasztrórapontok szerinti térbeli bontást tartalmazzák) tároltuk az egyes pontokhoz tartozó kárösszegeket. Emellett számítottuk az alternatívákhoz rendelhető beruházási, fenntartási és működtetési költségeket is.

A modellezés szempontjából –feltételezésünk szerint- valamely alternatívában a védelmi rendszer kiépítése a folyamat elején megvalósul. Ez a védelmi rendszer fix, induló költsége. Ezt a feltételezést két szempont indokolja, a védelmi rendszer kiépítése (bármelyik vizsgált verzió) a vizsgált időszak hosszához képest töredék idő alatt elvégezhető, ha arra tényleges közösségi szándék van; másrészt az elemzés célja védelmi rendszerek összehasonlítása, nem az ütemezésből adódó kérdések vizsgálata.

#### 4.7 Fenntartható árvíz-szabályozási koncepció

Ahogy a fentiekben bemutattuk, az alternatívák elemzésekor egy kényszerű alkalmazkodási helyzetet vizsgálunk. Egy romló feltételrendszerhez való alkalmazkodás legkevésbé rossz megoldását kell megtalálni. Az alkalmazkodás módja a védekezési rendszer megváltoztatása, amely csökkenti a negatív kimenetelű események kárának várható értékét. A csökkentett várható kárnagyság elérését (kármegelőzést) szolgáló ráfordításokat és a kár várható értékét összeadva az alábbi összesített eredményeket kapjuk, amely az alternatívák rangsorolásához vezet.

A táblázat eredményeit elemezve elmondható, hogy az egy-egy szempont szerint a legjobbnak számító megoldások (VTT 11, Mélyártár MÁSZ+0) összesítve közepes, vagy kevésbé jónak számítanak. Összességében azok a megoldások a legelőnyösebbek, amelyek alacsony beruházási költség mellett nem túl magas kockázati szintet jelentenek (mélyártéri árapasztások), vagy magas beruházási költségek mellett nagyon alacsony kockázati szintet tudnak biztosítani (VTT 11 tározós megoldásai).

A védekezési scenáriók közül mindkét jövő értékelési mód esetében a Mélyártéri elárasztás MÁSZ+0,5 megoldás a legelőnyösebb. A következő három elem (2.-4.) csak egymás közötti sorrendjében változik. A MÁSZ+1 töltés emelés verzió helyzete nem változik a rangsorban (5.). A következő (6.-9.) helyeken is csoporton belüli átrendeződést figyelhetünk meg. Míg az utolsó két (10.-11.) helyen lévő megoldások sem változtak (a 0,5 méteres töltésemelés és a VTT 6 tározós változata).

Az összevetésből kiderül, hogy a fél és 1 méteres töltés magasztás hatása eltérő. A MÁSZ +0,5 méteres szint növelés önállóan nem elég hatásos, a várható kárérték – a többi lehetőséghez képest még magas, ezért kiegészítve valamelyik árapasztási opcióval kedvezőbb helyzet érhető el. A többlet ráfordítások ehhez ugyanis kellő mértékben csökkentik a várható kár értékét. A MÁSZ+1 méter növelés esetében azonban a töltés növeléssel lecsökkentett kockázatot az árapasztó megoldások közül csak

a mélyártéri variáció tudja a pótlólagos ráfordítások értékénél nagyobb mértékben csökkenteni, a VTT tározók többlet ráfordításai azonban már nem. Ugyanakkor a Mélyártér MÁSZ+0,5 variáció kedvezőbb, mint a MÁSZ+1-et kiegészítő megoldás. Ezek az összefüggések a diszkont ráta változása esetén sem változnak.

	<i>Kár + Ráfordítás 1% diszkont ráta esetén Mrd Ft</i>	<i>Szenáriók költség sorrendben</i>	<i>Kár + Ráfordítás 3% diszkont ráta esetén Mrd Ft</i>	<i>Szenáriók költség sorrendben</i>
-	<b>4046</b>	<i>Alaphelyzet</i>	<b>1747</b>	<i>Alaphelyzet</i>
1	<b>369</b>	<i>Mélyártéri árapasztás MÁSZ+0,5</i>	<b>242</b>	<i>Mélyártéri árapasztás MÁSZ+0,5</i>
2	<b>386</b>	<i>Mélyártéri árapasztás MÁSZ+1</i>	<b>284</b>	<i>VTT11 MÁSZ+0</i>
3	<b>388</b>	<i>VTT11 MÁSZ+0,5</i>	<b>295</b>	<i>Mélyártéri árapasztás MÁSZ+1</i>
4	<b>434</b>	<i>VTT11 MÁSZ+0</i>	<b>309</b>	<i>VTT11 MÁSZ+0,5</i>
5	<b>462</b>	<i>MÁSZ+1</i>	<b>311</b>	<i>MÁSZ+1</i>
6	<b>464</b>	<i>VTT6 MÁSZ+1</i>	<b>327</b>	<i>VTT6 MÁSZ+0,5</i>
7	<b>488</b>	<i>VTT11 MÁSZ+1</i>	<b>360</b>	<i>VTT6 MÁSZ+1</i>
8	<b>518</b>	<i>VTT6 MÁSZ+0,5</i>	<b>397</b>	<i>Mélyártéri árapasztás MÁSZ+0</i>
9	<b>785</b>	<i>Mélyártéri árapasztás MÁSZ+0</i>	<b>405</b>	<i>VTT11 MÁSZ+1</i>
10	<b>936</b>	<i>MÁSZ+0,5</i>	<b>454</b>	<i>MÁSZ+0,5</i>
11	<b>1551</b>	<i>VTT6 MÁSZ+0</i>	<b>692</b>	<i>VTT6 MÁSZ+0</i>

4.7.1 táblázat: A várható kár és kármegelőzési ráfordítások összege jelenértéken

A 4.7.1 táblázatban ismertetett rangsor, önmagában nem tekinthető döntési kritériumnak, ugyanis különböző költségviselő szereplőket és költségviselési arányokat feltételezve más-más variáció lehet a több szempontból is elfogadható megoldás.

A vizsgált scenáriók közül a Mélyártér töltés emeléssel (MÁSZ+0,5; MÁSZ+1) és a VTT 11 tározós változat töltés emelés nélkül, vagy a MÁSZ+0,5 emeléssel kiegészítve bizonyultak a legelőnyösebb csoportnak. A fenti táblázat összetevőit vizsgálva ugyanakkor kitűnik, hogy a teherviselő generáció számára az összesített szinten kis különbséget mutató megoldások terhe igen eltérő. Számukra racionális a hasonló össz-kimenetelű változatok közül az alacsonyabb beruházási költség arányú megoldásokat választani. Ez amiatt is racionális döntés, mivel lehetőséget

hagy később a kockázat kitettség oldali csökkentésére ágazati szabályozási eszközök alkalmazásával.

A VTT 11 változatainak kedvező ráfordítás szintje a magasabb beruházási költség - alacsonyabb védekezési költség összeállításból fakad, emiatt a jelen döntéshozói számára kevésbé lehet vonzó, a mélyártéri megoldásokhoz képest mivel a fel nem merülő ráfordítások haszna később jelentkezik.

Vizsgáltuk, hogy a legkisebb fix költséggel rendelkező, forrás lekötés szempontjából, a jelenben kedvező megoldások milyen relatív hátrányokkal járnak. A legkedvezőbb megoldásnál (Mélyártér+MÁSZ0,5) kisebb fix költségű variációknak nem csak a kockázat szintje magasabb, hanem a kockázat megoszlás jellegét sem módosítják kellő mértékben, nem csökken a többi variációhoz hasonló mértékben a nagy egyedi kárértékű események bekövetkezésének valószínűsége.

A legkedvezőbb variáció két elemét a megvalósítás időrendjének szempontjából vizsgálva látható, hogy a mélyártéri árapasztás össz-kimenete kedvezőbb, a ráfordításai alacsonyabbak, ami nagyobb hatással van az össz-kimenetre, mint az - 1% melletti - azonos, vagy - 3% melletti - magasabb kárértéke. A megvalósítás racionális menete e tekintetben – fokozatosan, nem egy összegben rendelkezésre álló forrásokat feltételezve (és feltételezve a VTT első ütemére vonatkozó kormányzati elhatározást is) - elsőnek a mélyártéri árapasztás lehetőségének kiépítése, párhuzamosan a kitettség oldali kockázatcsökkentést eredményező (szabályozási) intézkedésekkel, majd a töltés szint emelésének lépését megvalósítani.

#### 4.8 Következtetések

1. A jelenlegi árvédekezési rendszer átalakítására közgazdasági szempontból szükségeszerű, racionális a fejlesztésekre forrásokat áldozni.  
A kockázat csökkentést célzó beruházások mindegyikére igaz, hogy a teljes időszakra számított ráfordításait jelentősen meghaladja az általuk előidézett várható kárérték csökkenés.  
Figyelembe véve a hullámtéri feltöltődést és a klímaváltozásból fakadó hatásokat, ha a töltésrendszer magassági kiépítése csak a mértékadó árvízszintig történne (MÁSZ+0), az időszak alatt felmerülő védekezési költségek miatt, beruházások nélkül is jelentős költségek keletkeznek. Ez meghaladja a legalacsonyabb költségű védekezési rendszerek beruházási, fenntartási és teljes időszaki védekezési költségeit.
2. A MÁSZ-ra kiépített töltés szintek és a fél méteres töltésemelés (MÁSZ+0,5) mellett az árapasztás mindegyik módoszata (mélyártér, VTT6, VTT11) pozitív szaldójú (a többlet ráfordításokat meghaladja a várható kárérték csökkenése).

3. A legkedvezőbb megoldásnak a mélyártéri árapasztás MÁSZ+0,5 verzió bizonyult. Emellett azok a megoldások a bizonyultak a legkedvezőbbnek, amelyek esetében alacsony beruházási költség mellett a kár várható értéke nem túl magas (mélyártéri árapasztások), vagy magas beruházási költségek mellett nagyon alacsony várható kár értéket tudnak biztosítani (VTT 11 tározós megoldásai). Ezek a változatok mind kedvezőbb helyzetet eredményeztek, mint a kizárólag MÁSZ+1 méteres töltés szint emelést megvalósító beruházás.
4. Az elemzés eredményei bizonyítják, hogy a kockázat csökkentés megvalósítása szempontjából az érintetteknek racionális investálni az árapasztásra alkalmas területek rendelkezésre állásának biztosításába, elsősorban a mélyártéri területek mezőgazdasági gyakorlatának átformálásával.  
Az árapasztást alkalmazó alternatívák megvalósítását olyan területek igénybevétele teszi lehetővé, amelyek a mentett oldalon helyezkednek el, az igénybe vett területek tehát szolgáltatást nyújtanak az árvízi védekezési rendszer (a megvédett értékek és személyek) számára.  
A folyamat legnagyobb problémája a tájegységi területhasználati rend kialakítása, amely a mai összehangolatlan helyzettől eltérően a területhasználatok megállapodásainak kell, hogy nyugodjon. Az érdekek harmonizációjának és a szükséges belső kompenzációk kialakításának korlátja leginkább kulturális, mivel pénzügyi szempontból egy-egy terület szempontjából a változás megvalósítása pozitív szaldót eredményezhet.
5. A védekezési rendszerekről rendelkezésre álló technikai és gazdasági jellegű információk önmagukban nem lehetnek elegendőek ahhoz, hogy kizárólag rájuk alapozva egyetlen optimális megoldást ki lehessen választani. Az állami szerepvállalás sarokpontjainak a tisztázása; az ágazatok közötti koordináció kereteinek megteremtése és a vízháztartás folyamatainak törvényszerűségeit figyelembe vevő, kitettség oldali alkalmazkodás hosszú távú stratégiájának a megalkotása.



## **Magyar Természetvédők Szövetsége**

A Magyar Természetvédők Szövetsége (MTvSz) A Magyar Természetvédők Szövetsége (MTvSz) célja a természet egészének a védelme, ezért állítottuk programunk középpontjába a fenntartható fejlődés megvalósításának elősegítését, ami a gazdasági, ökológiai és szociális kérdések együttkezelését követeli meg.

Az MTvSz 1989-ben alakult 32 tagcsoporttal, azóta dolgozik hazánk természeti értékeinek megóvásáért, a biológiai sokféleség megőrzéséért, valamint a környezetszennyezés csökkentéséért, megelőzéséért.

Az elmúlt 10 évben taglétszámunk többszörösére nőtt, így jelenleg 28 ezres tagságunk 93 tagszervezetben fejt ki tevékenységét. A tagcsoportok döntő többsége vidéken működik, programjaik rendkívül változatosak, jórészt a helyi környezeti, természeti problémák feltárására és megoldásának elősegítésére irányulnak. Ugyancsak nagy figyelmet fordítanak a helyi lakosság és fiatalok környezeti nevelésére, szemléletformálására, a környezetbarát fogyasztói magatartás kialakítására is. fogyasztói magatartás kialakítására is.

### **Nemzetközi kapcsolataink**

A Szövetség nemzetközi kapcsolatai kiterjedtek. A Szövetség nemzetközi kapcsolatai kiterjedtek. Szervezetünk tagja a Föld Barátainak (Friends of the Earth), a Természetvédelmi Uniónak (IUCN), az Európai Környezetvédelmi Irodának (EEB), a Közép- és Kelet Európai Bankfigyelő Hálózatnak (CEE Bankwatch) és a Közép-Kelet-Európai Biodiverzitás Munkacsoportnak (CEEWB). Biodiverzitás Munkacsoportnak (CEEWB).

### **Tevékenységeink**

- A fenntartható fejlődés elveinek megvalósítása
- A fenntartható fejlődés elveinek megvalósítása érdekében: döntéshozók meggyőzése, a lakosság szemléletformálása és a helyi programok támogatása
- Az országos, nemzetközi és helyi szintű döntések befolyásolása környezetünk megóvása érdekében
- Kampányok aktuális környezetvédelmi ügyekben, például Verespatak és a Zengő védelmében
- Gyakorlati természetvédelem segítése, a természeti értékek megőrzése
- Agrár-környezetgazdálkodás, vidékfejlesztés ügyének előmozdítása, génmódosított termékek elleni fellépés
- Hozzájárulás a globális környezetvédelmi problémák megoldásához
- Környezeti szemponok érvényesítése az ipar működésében, kampány egy szigorú európai vegyianyag politikáért
- A fenntarthatóság és a társadalmi részvétel erősítése a fejlesztési politikákban
- Nemzetközi pénzügyi intézmények ellenőrzése, Bankfigyelő Hálózat
- Környezeti szemléletformálás és nevelés, kapcsolattartás a médiával, rendszeres média megjelenések érdekében
- A tagszervezetek és a környezetvédő mozgalom tevékenységének támogatása
- Közös országos szakmai programok, kampányok szervezése a tagszervezetekkel szervezése a tagszervezetekkel