

**Megvalósíthatósági tanulmány:  
A Duna szigetközi szakaszának rehabilitációja**

**Vezetői összefoglaló**

**Készítette**

**A Bős-Nagymaros Project Kormányküldöttsége által a közös magyar-szlovák Stratégiai Környezeti Vizsgálat elkészítése céljából megalakított Munkacsoport magyar szekciója**

**Irányította**

**a SEA Magyar-Szlovák Közös Irányító Bizottságának magyar szekciója  
(Ijjas István, Kern Klaus és Kovács György)**

**2010. március  
Budapest**

**Nyers fordítás az eredeti angol nyelvű változatból**

## A vizsgálat célja

Az utóbbi évtizedekben a veszélyeztetett élőhelyekkel és fajokkal kapcsolatos növekvő tudatosság számos olyan nemzetközi és nemzeti törvény, valamint program megalkotásához vezetett, amelyek a veszélyeztetett élőhelyek és fajok védelmét célozzák meg. A Duna korábbi szárazföldi deltájának részét képező szigetközi láp a XIX. század végén kezdődő folyószabályozás óta lezajlott mélyreható beavatkozások ellenére a mai napig számos ritka állat- és növényfajnak ad otthont.

Jelen tanulmány célja, hogy

- elemezze a növény- és állatvilág természetes táj- és élőhelyszükségleteit egy átfogó folyószabályozás előtt
- felmérje a XIX. század elejétől 1992-ig, a folyó Bösi Vízerőműbe történő eltérítéséig lezajlott szabályozási munkálatok hatását
- meghatározza a flóra- és a faunadiverzitás rehabilitációját, valamint megőrzését szolgáló környezetvédelmi célkitűzéseket és feltételeket
- megvizsgálja a jelenlegi és a jövőben lehetséges vízpótlási intézkedések hatását az élőhelyek állapotára
- meghatározott küszöbértékek alapján megbecsülje ezen intézkedések ökológiai hatékonyságát (összehasonlító értékelés)

A tanulmánynak nem célja az „ideális megoldás” bemutatása. Tulajdonképpen a vizsgált rehabilitációs intézkedések közül egy sem felelt meg egyszerre az összes jelentős környezetvédelmi célnak és az energiatermelés, valamint az árvízvédelem miatt szükséges kényszerfeltételeknek.

A bemutatott modellek és a belőlük kapott eredmények azonban kitűnő alapot adhatnak a jövőbeli tervezéshez.

## A vizsgálat menete

A nemzetközi gyakorlatnak megfelelően a folyami hullámtéri ökoszisztéma természetes működését vizsgáltuk („Leitbild megközelítés”, ld. 2. fejezet). Ez azt jelenti, hogy a nagy folyószabályozások előtti időszak élőhelyi viszonyait együtt elemeztük a folyómeder változásait követő dinamikus tájváltozásokkal. Az eredményül kapott hidrológiai és morfológiai paraméterek, pl. a talajvízszint és a felszíni vízszint szezonális ingadozásai, a folyószabályozások hatásának vizsgálatához és a rehabilitációs intézkedésekhez referenciaként szolgálhatnak.

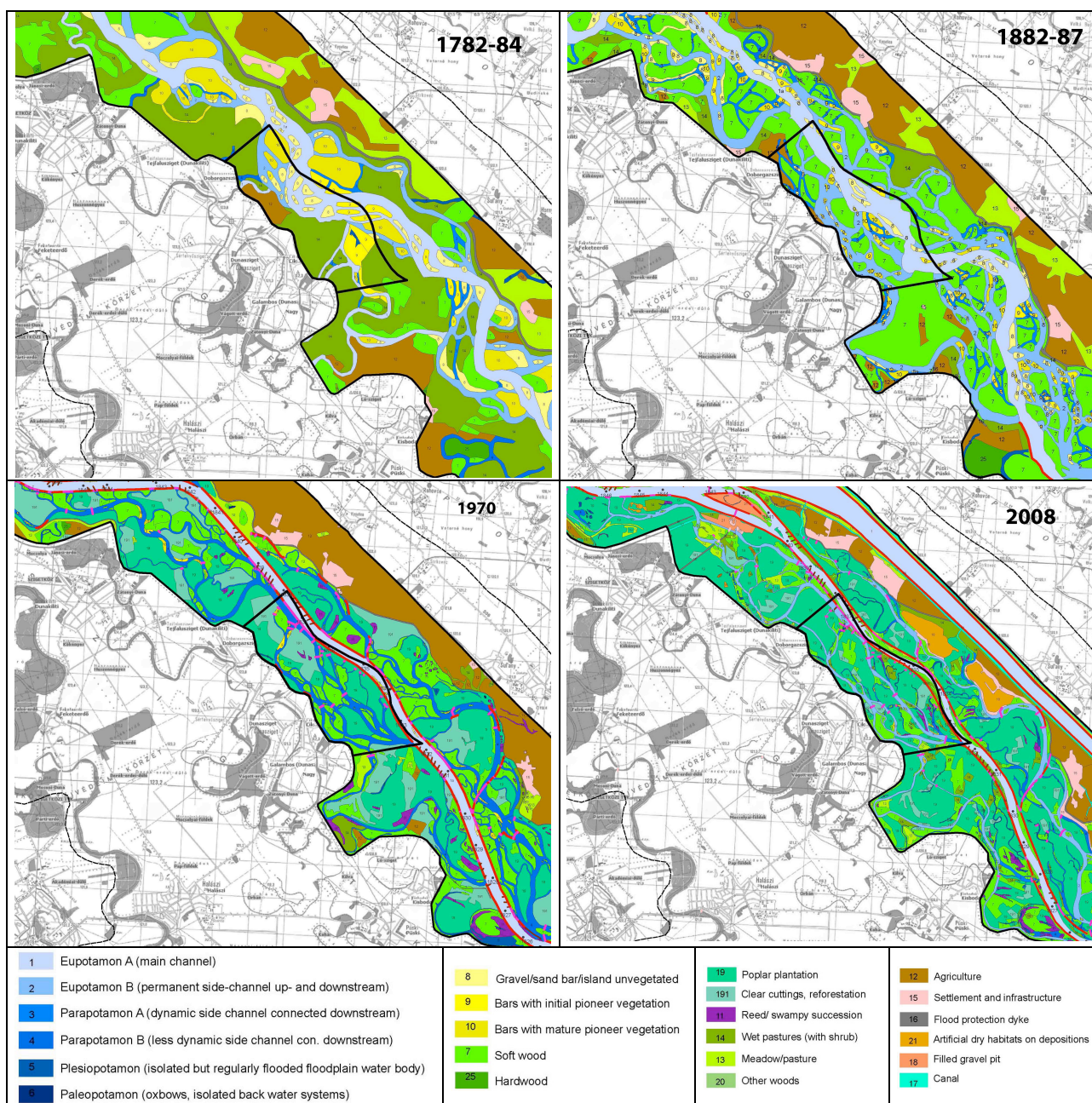
A 3-5. fejezetekben mutatjuk be a folyószabályozások és az árvízvédelmi intézkedések, valamint a természeti erőforrások használatának hatását a tájra, a flórára, a faunára és a víztartó rétegre a XVIII. századtól napjainkig. A múltbeli beavatkozások és a jelenlegi föld- és folyóhasználat korlátozzák a rehabilitációs intézkedéseket és ezáltal a referenciaállapot elérését. A kapcsolódó jogszabályi kötelezettségeket a 6. fejezet tartalmazza.

A referenciaállapot és a kényszerfeltételek adják meg azt a keretet, amelyen belül körvonalazni kell a jelenlegi viszonyok mellett elérhető környezeti célokat (7. fejezet). A kritériumok és az igazodási pontok („benchmark”-ok) a vízi és a vízparti élőhely-típusokra

(„átmeneti zónák”) vonatkoznak, valamint a szárazföldi élőhelyekre, pl. puhafa és keményfa ligeterdők.

A rehabilitációs intézkedések („változatok”), és ezen belül a jelenlegi állapot meghatározása után matematikai modelleket állítottunk fel a felszíni vízfolyásokra, a talajvízszintre és a mederfejlődésre gyakorolt hatások (pl. erózió és üledék lerakódás) vizsgálatának céljából (8. fejezet). Amennyire lehetséges volt, a halakra és a növényzetre gyakorolt lehetséges hatásokat is megvizsgáltuk.

### A Szigetköz természetes állapota a folyószabályozások előtt (2. fejezet)





## 1. ábra. A Szigetköz tájelemeinek vizsgálata különböző időszakokban

A változatok és a jelenlegi helyzet értékelése a 9. fejezetben található. Az értékelés az élőhely fizikai jellemzőire fókuszál, a 7. fejezetben kijelölt kritériumokra és feltételekre alapozva. A tanulmány végén összegezzük a különböző forgatókönyvek („koncepciók”) ökológiai hatékonyságára vonatkozó következtetéseket.

A Duna minden egyes áradáskor óriási mennyiségű homokot és kavicsot hordott le az alpesi medréről a Kárpátokok kapuján át a magyar Kisalföldre. A folyó esésének csökkenése a hordalék folyamatos lerakását eredményezte, egy nagy hordalékkúpot képezve Pozsonytól Gönyűig. Egyetlen árvíz elég volt ahhoz, hogy a főmedret nagy mennyiségű homokkal és kavicsal áraszsa el, és a főágot a korábbi mellékágakba irányítsa. A magyarországi Mosoni-Duna és a szlovákiai Kis-Duna (Malý Dunaj) a régebbi szárazföldi delta maradványai.

Történelmi térképek elemzése során kiderült, hogy drámai mederváltozások történtek akár néhány évtized alatt is. A meder kiszélesedésének és szűkülésének időszakai váltották egymást, ami a hidrológiai dinamika változásaival járt, azaz változott a különböző magnitúdójú árvizek gyakorisága. Az 1. ábra (felső része) a szigetközi szakasz középső részét mutatja 1782/84 és 1882/87 között. Nyilvánvaló, hogy az árterület szinte minden négyzetmétere állandó átmeneti állapotban volt a szárazföldi és a vízi élőhelyek között.

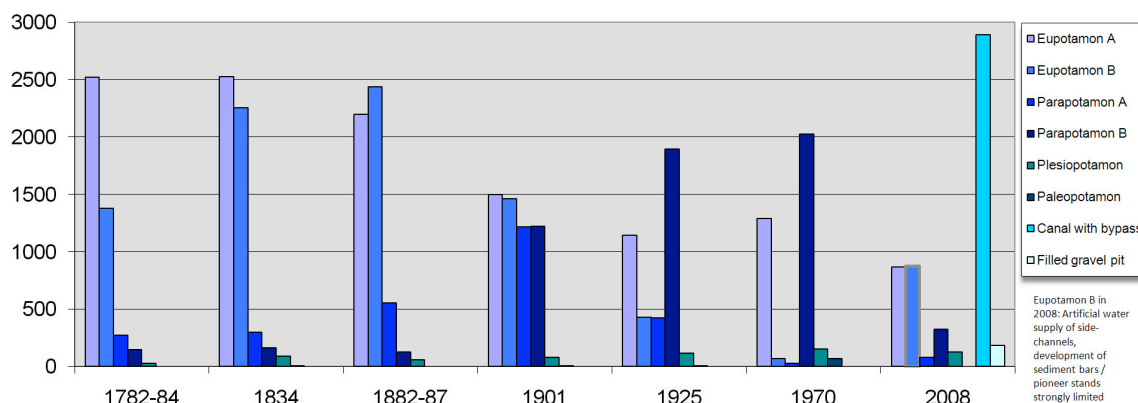
Az árvízi hordalék oldalirányú erózió általi megmunkálása és a medrek fokozatos vagy hirtelen áthelyeződései voltak a természeti rendszer legjellemzőbb tulajdonságai. A mederfeneket homok és kavics borította. Az egész szakasz mentén elszórtan nagy kavicsátonyok voltak, néhányukon pionír vegetációval. Csak igen kevés rövid ág nem volt összeköttetésben a főággal alacsony és közepes vízhozamnál. Finom üledék lerakódások csak ritkán fordultak elő néhány izolált mederszakaszban. A szabálytalan medermintázat nagyon változatos áramlási sebességekkel, vízmélységekkel és szubsztrátumokkal párosult, pl. kidőlt fák tarkították. A szigetközi vizes élőhely dinamikus változó környezet volt, igen fiatal szukcessziós állapotú élőhelyekkel. Ennek következtében a főági folyosótól nagyobb távolságra igen kevés foltban nőtt keményfa ligeterdő.

### A folyószabályozás és az erőforrások használatának hatásai (3-5. fejezet)

A Duna-medencében és a hullámtéren az erdőirtás volt az első beavatkozás, ami hatással volt a folyórendszerre. A XIX. század végi folyószabályozás, amelynek során egy meghatározott mederszélességű és védett partú főágot hoztak létre, az első nagy fordulópontot jelentette a természeti rendszer működésében. Ezzel befejeződött az árvízi hordalékok folyamatos áthelyeződése, és így a vízi és szárazföldi élőhelyek megújulása is.

A XX. század elejére a mederterületnek közel egyharmada, amely addig állandó átfolyással rendelkezett (Eupotamon), átalakult csak alvízi kapcsolattal rendelkező mellékágakká (Parapotamon, 2. ábra). A kisvízi szabályozása után (1925) az Eupotamon víztestek arányának további csökkenését regisztrálták. 1970-re a legtöbb mellékág már csak árvizek idején kapott vízellátást. Ez a további változás főként azért következett be, mert a

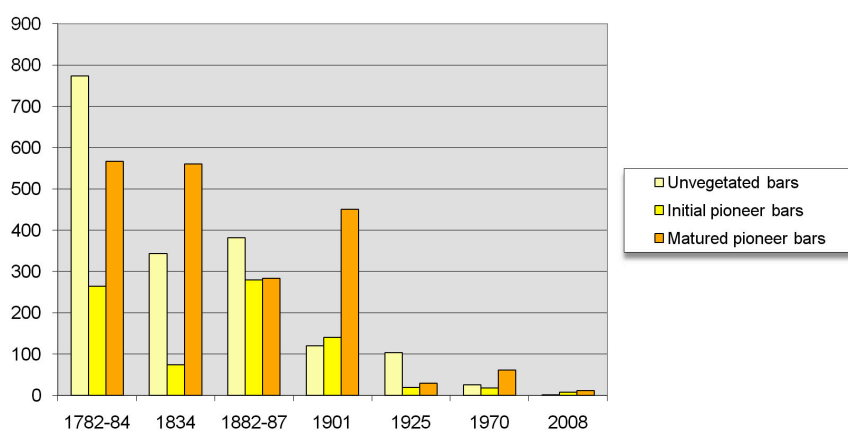
mederkotrások hatására mélyült a mederfenék, és csökkent a felső vízgyűjtő területekről hozott hordalék mennyisége.



**2. ábra.** A vízi élőhely-típusok eloszlásának változása a XVIII. századtól (teljes terület hektárban)

A természeti rendszer ökológiai funkcióiban bekövetkezett második nagy fordulópontra 1992-ben jött el, amikor a víz 80%-át a Bósi Vízerőmű csatornájába terelték energiatermelés céljából. Az ezt követő 2-3 méteres vízszintesökkenés a főág melletti területeken a talajvíz folyásirányának megfordulásához vezetett. Az 1995-ös vízpótlási rendszer kialakításakor létrehoztak egy állandó átfolyású új mellékágrendszert, teljesen különválasztva a főágtól (1. ábra alsó része). A 2. ábrán látható az Eupotamon-B arányának növekedése ennek az állandó átfolyású, egymással összeköttetésben álló ágrendszernek tudható be.

A vízi élőhelyek minősége azonban ezzel egyidőben jelentősen romlott. A 3. ábrán látható a különböző szukcessziós állapotú homok- és kavicszátonyok mennyiségének csökkenése. A zátonyok teljes területe jó indikátora a rendszer dinamikus jellegének és a vízi élőhelyi állapotok diverzitásának. Már az első folyószabályozáskor drámai csökkenés zajlott le, majd ezt követték a kisvízi szabályozások alatti csökkenések. Az utolsó beavatkozáskor a főmederben megmaradt övzátonyok átalakultak állandó puhafa állományokká.



**3. ábra.** A vegetációmentes és növényzettel borított homok- és kavicszátonyok teljes területének változása hektárban

A Duna szigetközi szakaszának jelenlegi ökoszisztémáját érintő fő hiányosságok a következők:

- 400 m<sup>3</sup>/s-os mennyiségű reziduális vízhozam (ideiglenesen megállapított éves átlag), aminek következtében a Duna vízszintje 2-3 métert apadt
- A főmeder és mellékágak összeköttetésének megszűnése
- A görgetett hordalék közel nullára való csökkenése a folyó 1992 októberi elterelése után
- A csak részleges árvízi vízhozamok a morfordinamikus (eróziós) folyamatok tekintetében
- Gyakorisági és tartóssági szempontból nem megfelelő hullámtéri elöntések
- A vízi élőhelyek, átmeneti (tranzit) zónák és hullámtéri élőhelyek leromlása a hidro- és morfordinamikai folyamatok hiánya következtében
- A folyómeder bevágódása az alvívcsatorna torkolata felett és alatt

A főmederből a mellékágrendszerbe való átjutás lehetetlensége sok olyan halfaj számára végzetes problémát jelent, amelyek az ártéren ívnak és táplálkoznak, a stagnáló oldalágakban telelnek, árvíz idején pedig búvóhelyre van szükségük. Az egymással összeköttetésben álló mellékágak rendszere egymaga nem jelent megfelelő élőhelyet a reofil halrajok számára, mivel sok reofil faj számára a folyási sebesség túl kicsi, a folyóágy szubsztrátuma pedig túlnyomórészt finom hordalékkal borított kavics. Ezt teljes mértékben tükrözik a közelmúltban végzett halfaj mintavételek is. Ezen kívül ahogy 3. ábrán a zátonyokkal kapcsolatban bemutattuk, a mederbeli struktúrák mennyiségének csökkenése nem csak a főmederre, hanem a mellékágakra is jellemző. Ezért az, hogy a mellékágakban az állandó átfolyással rendelkező víztesteket 1970 és 2008 között helyreállították (2. ábra, Eupotamon-B), nem fedheti el azt, hogy az indikátorfajokat jelentő reofil halak számára a vízi élőhelyek állapota továbbra is leromlott.

Az árvizek nélkülözhetetlenek a mederformáló folyamatok működéséhez, valamint a homok és a kavics szállításához, és a szárazföldi hullámtéri élőhelyek rendszeres elárasztásához. A Bósi Vízerőmű turbináinak nagy kapacitása miatt a Szigetközben elmaradtak a rendszeres szezonális árvizek, és mind gyakoriságukat, mind időtartamukat tekintve hiány alakult ki a megfelelő, mederkitöltő vízhozamokból. Összességében tehát elmondható, hogy a jelenlegi vízjárás nem biztosítja a korábbi folyami-ártéri ökoszisztéma funkciókat.

### **Jogi keretek (6. fejezet)**

A Szigetköz területén mindennemű beavatkozásnak meg kell felelnie a nemzetközi és európai jogszabályoknak, valamint a Nemzetközi Bíróság 1997-ben hozott ítéletének. A Bíróság az ítéletben megállapította (140§. és 146§.), hogy „a környezeti kockázatok megítéléséhez a jelenlegi normákat kell figyelembe venni”, a Feleknek „kielégítő megoldást kell találniuk a Duna régi medrébe és a folyó mindkét oldalán lévő mellékágakba bocsátandó vízmennyiséget illetően”, és „a C-változat működtethető úgy, hogy mind az áramtermelő rendszer gazdaságos működtetésének, mind az alapvető környezetvédelmi követelményeknek eleget tegyen”.

A régió jövőbeni fejlesztése szempontjából a legfontosabb környezetvédelmi előírásokat az Európai Unió Víz Keretirányelve (VKI, Water Framework Directive, WFD) tartalmazza,

amely meghatároz bizonyos alapelveket, környezetvédelmi célokat, és a megvalósításukhoz szükséges időbeli ütemtervet. Ez a tanulmány követi az általános alapelveket és eleget tesz a megvalósításukhoz szükséges lépéseknek. Továbbá a kritériumokat és az igazodási pontokat („benchmark”-ok) a nagy árterű folyók ökológiájához igazítja.

### Környezeti célok és kritériumok (7. és 9. fejezet)

A környezeti célokat és kritériumokat az élőhely fizikai állapota szerint határoztuk meg, azaz a hidro- és morfodinamika szempontjából (1. táblázat), valamint a jellegzetes élőhely-típusokra adtuk meg, úgymint a különböző vízi élőhely-típusokra (4. ábra), a víz és a szárazföld közötti átmeneti zónákra, az alacsonyan fekvő hullámtéri területekre (puhafa ligetek és mocsarak), végül a magasabban fekvő és kevésbé dinamikus változó területekre (keményfa erdők).

**1. táblázat.** Környezeti célok és az élőhelyek fizikai állapotának indikátorai

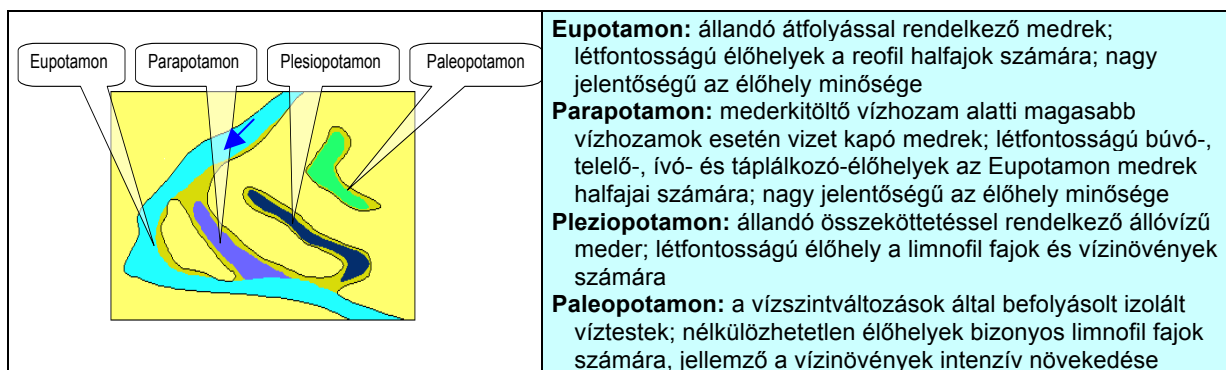
| Paraméter  | Célkitűzés   | Indikátor  |
|--|--|--|
| Vízjárás és szezonális dinamika  | A vízhozam természetes változékonysága, teljes árvízi vízjárás   | A Dévénynél mért vízhozam- adatokkal összehasonlított vízhozam   |
| A megfelelő időszakban mért vízszintingadozások                        | A vízszint nagymértékű ingadozása „pre-dam” helyzetben   | Az átlagos vízszint pozíciója, és a szezonális vízszintingadozások tartománya  |
| Vízsebesség és a vízsebesség sokfélesége                               | A víztest-típushoz igazodó vízsebesség (4. ábra); a vízsebesség sokfélesége a mederváltozatossággal összefüggésben   | A vízsebesség hosszanti ingadozási tartománya, az áramlatok helyi sokfélesége a keresztshelvényekben és a folyóvíz-foltokban             |
| Görgetett hordalék szállítása  | A hordalék potenciális szállítására alkalmas vízjárás  | A homok és a kavics mozgatásához szükséges kritikus nyírófeszültség eloszlása, a megfelelő kiterjedésű árvizek időtartama és gyakorisága |
| Mederfejlődés  | Az élőhelyek megújulása mederfejlődés révén és a medrek áthelyeződése oldalirányú erózió révén                       |  |
| Oldalirányú és hosszirányú összeköttetés, áteresztő medersubsztrátumok | Nagymértékű összeköttetés a folyó hosszában és a mellékágak felé, túlnyomórészt homok- és kavicsaljzat               | Az átlagos vízszint, a szabadon áramló folyószakasz hossza, a gátak és lépcsők típusa, a kritikus nyírófeszültség eloszlása              |
| Talajvízjárás  | A vízi élőhelyi jelleg és az élővilág fenntartásához szükséges talajvízszint-ingadozás; elegendő talajvíz-utánpótlás | A szezonális talajvízszint-ingadozások térbeli kiterjedése, a kritikus nyírófeszültség eloszlása   |

A jelenlegi állapot és a lehetséges rehabilitációs intézkedések értékelését a matematikai modellekből kapott indikátorok alapján végeztük el (1. táblázat). A paramétereket és az indikátorokat a korábbi nagyon dinamikus környezetből adódó specifikus élőhelyek és az ott található élővilág alapján választottuk ki. A *vízjárás* mint irányító folyamat nem csak a természetes vízhozam uralkodó eloszlását jelenti, hanem az árvizek eloszlását is, amelyek a morfodinamikai folyamatok szempontjából fontosak. A szezonális alacsony vízállástól az árvízi állapotig terjedő *vízszintingadozások* kulcsfontosságúak az átmeneti zónák és a

szárazföldi hullámtéri élőhelyek állapota szempontjából. A felszíni vízszintingadozások szabályozzák a *talajvízjárást*, amely a hullámtér védett oldalának nagy területeire van hatással. A túlnyomórészt alacsony és közepes vízállásra jellemző *vízsebességek* és az átlagos áramlási viszonyok létfontosságúak a reofil halfajok diverzitása szempontjából.

A természetes rendszerben a folyó és hullámtere egy egységet alkotott, amelyre a különféle élőhelyek közti számos átmenet, a vízi fauna szabad kicserélődése és a nyitott kavicsagyak jelenléte volt jellemző (1. ábra). A folyószabályozás következtében különálló folyómedrek, árterületek és védett részek jöttek létre, sok szempontból megakadályozva az élővilág migrációját és kicserélődését. Ezért az *összeköttetés* helyreállítása a legfontosabb cél. A nyírófeszültség mederkitöltő vízhozamoknál jelentkező nagysága és térbeli eloszlása, valamint az árvízi vízjárás szabja meg a *mederfejlődés* lehetőségét, és végső soron az élőhelyek megújulását.

A vízi élőhelyek különböző víztest-típusokba sorolhatók, amelyekre jellemzőek az élőhelyi viszonyok és az ott található élővilág (4. ábra). A vegetációmentes homok- és kavicsátonyok vagy a zátonyok pionír állományai és a természetes partszakasz hossza történelmi térképek alapján tájelemzéssel számszerűsíthető az átmeneti zónák térbeli kiterjedésének összehasonlítása céljából. Az 1. ábra a tájelemek összetételének változását mutatja a XVIII. századtól napjainkig, szemléltetve a folyószabályozás és a földhasználat változásának hatásait az ártérre.



**4. ábra.** A nagy ártérrel rendelkező folyók víztest-típusai, mint a vízi élőhelyek állapotára jellemző kritériumok

Az ökológiai kritériumokon kívül elemeztük a nagy árvizeknek a vízszintre gyakorolt hatását is az árvízvédelemmel való összeegyeztethetőség értékelése céljából.

#### A rehabilitációs intézkedések áttekintése

A *jelenlegi mederhálózat* és vízhozam-eloszlás a víz 80%-ának a Bösi Vízerőműbe történő elterelését követő vízpótló intézkedések eredménye. A korábbi hullámtér négy különálló részre tagozódott: a csökkent vízhozamú főmeder, a szlovákiai hullámtér, amely az erőmű üzemvíz-csatornájából kapja a vízutánpótlást, a magyar hullámtér, amely a Dunakilitinél lévő gát felvízcsatornájából kapja a vízutánpótlást, és a védett oldal. A magyar hullámtéren 1992 után az összes mellékági bemenetet lezárták, de a Bagoméri-ág kivételével az ágak összeköttetésben vannak egymással. A mellékágrendszerben bukógátak szabályozzák a



vízszintet. A magyar mellékágrendszert dinamikus vízjárás szerint szabványozzák, ahol az átlagos vízhozam 30-150 m<sup>3</sup>/s, az esetenkénti csúcshozam pedig 200 m<sup>3</sup>/s fölött van, amely főként a Cikolasziget és Dunaremete közötti szakaszon, illetve kisebb mértékben az Ásványi-ágrendszerben eredményez elárasztásokat.

1992 óta egy tucatnyi rehabilitációs javaslat került nyilvánosságra sok különböző szerző tollából, de csak néhányat dolgoztak ki részletesebben. Ilyen az úgynevezett SZITE-változat, amelyet a Szigetközi Természetvédelmi Egyesület dolgozott ki, illetve a kanyarulatképzéses változat, amely az INTERREG IIIA / HUSKUA/05/02/94 projekt (2007) tárgyát képezte. Más javaslatok a mederágy szűkítését és megemelését (WWF 1994, 1997), a meder oldalirányú erózióval történő kiszélesítését (Jaeggi, Neue Züricher Zeitung, 1994. jan. 12.), a meder zátonyanyagokkal történő megemelését (Molnár 2004) vagy a főmederben különböző számú duzzasztógát megépítését (több forrás) irányozták elő. Ezek közül egyiket sem dolgoztak ki részletesebben. Ahhoz, hogy ezeket a javaslatokat numerikus modellekben vizsgálhassuk, a medrek geometriájára és szerkezetére vonatkozóan egyszerűsített tervezési előfeltételezéseket fogalmaztunk meg.

A tanulmány elkészítése során számos változatot választottunk ki további részletes vizsgálat céljára, amelyek négy különböző rehabilitációs koncepciót reprezentálnak (2. táblázat). A kiválasztott változatok különböző rehabilitációs koncepciókat fedtek le, így elkerültük az időigényes modellfuttatások felesleges ismétlését. Az *első koncepció* meghagyja a főmeder és a hullámtéri mellékágrendszer jelenlegi különállását, és általános vízhozam-növelést javasol a vízi élőhelyek és a vízjárás javítása céljából.

## 2. táblázat. Rehabilitációs koncepciók és kapcsolódó intézkedések

| Koncepció |   | Intézkedések   |
|-----------|---|--|
| 1         | A főmeder és a mellékágrendszer szeparáltságának elfogadása   | Jelenlegi állapot + Fokozott vízhozam                      |
| 2         | A vízrendszerek összekötése a főmeder szintjének megemelésével  | Szűkítéssel változat, Optimális feltöltéses változat + VVJ |
| 3         | A rendszerek összekötése a vízszintek emelésével (duzzasztógátak zsilipekkel és küszöbökkel a főmederben) | SZITE-változat, két Meanderező változat + VVJ              |
| 4         | Alacsonyabb másodlagos hullámtér létrehozása oldalirányú erózióval  | Kiszélesítéssel változat + VVJ                             |

VVJ = változó vízjárás

A *második koncepció* a vízszint emelését javasolja a főmeder vízszállító kapacitásának csökkentése révén, amely lehetővé teszi a hullámtéri víztestekkel való oldalirányú összeköttetés kialakulását. A „**Szűkítéssel változat**” 2 m-rel megemelte a főcsatornában a korábbi övzatonok felületét, amely a teljes meder területének közel egyharmadát teszi ki. Mivel ez az eljárás igen rossz hatásként bizonyult a vízszint emelése szempontjából, az „**Optimális feltöltéses változat**” került megvalósításra, amely 3-4 m-rel feltöltötte a mederágyát, hogy az 1950-es évekre jellemző átlagos vízszint valósuljon meg a főmederben. A kiválasztott változatok a mederfeltöltéses koncepció alsó és felső határait jelentik, tehát ennek figyelembevételével kell az eredményeket értelmezni. A koncepció részét képezi az átlagos vízhozam megnövelése abból a célból, hogy az optimális feltöltés szintje alatt is létrejöjjön a mellékágakkal való összeköttetés, valamint a hatásos árvizekkel jellemezhető változó vízjárás kialakítása.

A *harmadik koncepció* a vízszint emelését javasolja a főmeder szakaszainak különböző számú duzzasztógáttal vagy fenékküszöbvel történő duzzasztása által. A vízszint megemelése egyúttal helyreállítja az oldalirányú összeköttetést a projektben érintett folyószakasz teljes hosszán vagy annak egy részén. A „**SZITE-változat**” három gát építését javasolja a főmederben hallépcsőkkel együtt, továbbá mozgatható árvízvédelmi zsilipeket és kis hajózsilipeket a sporthajók számára. A koncepció a mellékág rendszernek a Bagoméri-ágra történő kiterjesztését is tartalmazza. Ezen kívül a tervezett duzzasztógáttól fölfelé két helyen kinyitásra kerülnének az oldalirányú lezárások, és a Duna mindkét oldalán mederkotrásra kerülne sor. A főmederben a növényzet kiirtását, az övzátonyok elkostrását és a hullámtér bizonyos területeinek megtisztítását javasolja azért, hogy csökkenjen az árvizek szintje és a jégtorlaszok kialakulása.

A „**Meanderező változatban**” hét fenékküszöb megépítését tervezik, ami egy sor duzzasztott szakaszt hozna létre a folyó mentén. Ezeknek a változatoknak az a lényegi gondolata, hogy a hullámtérben egy új szabadon áramló folyót hozzanak létre, amely a fenékküszöbök felvízcsatornájánál keresztezi a felduzzasztott Dunát. Mindkét változat egy azonos lefutású, kanyarulatós (meanderező) mellékágat alkalmaz, amely a meglévő ágakból és néhány újonnan létrehozandó összekötő ágból áll össze. Az **INTERREG** változat nem szélesítené ki a meglévő ágakat, ennek következtében a vízhozam eloszlása a főmeder és a kanyarulatós oldalág között változó lenne a folyószakasz mentén. A **Meanderező (400)** változat a kanyarulatós oldalág kiszélesítését tervezi az akár körülbelül 400 m<sup>3</sup>/s-os vízszállító kapacitás elérése érdekében. Az így létrehozott kanyarulatós mellékágnak a maradék vízhozammal rendelkező jelenlegi főmederhez hasonló lenne a szélessége, azaz kb. 150-200 m. Ez utóbbi változathoz magasabb fenékküszöbök megépítése szükséges, mint az INTERREG változathoz.

A *negyedik koncepcióban* a mederfenék oldalirányú erózióval történő megemelést vizsgálták („**Kiszélesítéssel változat**”). A megfelelő helyeken el kellene távolítani a partvédelmet, hogy az árvízi vízhozamok be tudják indítani az oldalirányú eróziót. Az évente néhányszor, több napon keresztül előforduló 3000 m<sup>3</sup>/s feletti mederkitöltő árvízi vízhozamok mellett várható, hogy a parti üledékek egy bizonyos szintig fokozatosan feltöltik a medret egy hosszan tartó folyamat során. Így évtizedek alatt egy másodlagos hullámtér alakulna ki medrekkel és kavicszátonyokkal, és növényzettel borított szigetekkel, a jelenlegi hullámtér pedig terasszá alakulna. A mellékágrendszer továbbra is kapna vízellátást, és a folyamatos szélesítéssel módosításokat kellene végezni. Ennek a változatnak előfeltétele a változó vízjárás.

A mederprofil fejlődése a partanyagok összetételétől és a megfelelő árvízi vízhozamoktól függ. Ebben a koncepcióban elfogadott, hogy megmarad a főmeder és a jelenlegi hullámtér elkülönítettsége. Az oldalirányú összeköttetés nem lenne lehetséges. A Kiszélesítéssel változat emiatt egy speciális opciót jelent, amit ennek megfelelően kell figyelembe venni.

## **Modellvizsgálatok**

A lehetséges rehabilitációs megoldások vizsgálatát egy- és kétdimenziós felszíni vízfolyásokra kidolgozott matematikai modellekkel végeztük el, a talajvízre gyakorolt hatásukat pedig háromdimenziós modellel vizsgáltuk. Minden modellt kalibrálni lehetett a mért felszíni- és talajvíz szintekre különböző vízhozamok esetén. Az egydimenziós morfológiai modellel a mederágy hosszú távú stabilitását vizsgáltuk a különböző változatok esetén. A növénytakarások jövőbeli változásainak előrejelzéséhez egy vegetáció-szukcessziós

modellt használtunk, amely a talajvízszint-adatokat használja fel a különböző rehabilitációs megoldások és vízjárési forgatókönyvek esetében.

### 3. táblázat. A hidro- és morfordinamikai modellek eredményei

| Modell                 | Paraméter eredmények   |
|------------------------|--|
| 1D felszíni-víz modell | - vízsebesség, mederfenéki nyírófeszültség (átlagérték a keresztmetszvényekben)<br>- vízszintek, vízmélység (a keresztmetszvényekben)<br>- a vízhozam eloszlása a medrek között (a mederkitöltő vízállások alatt)  |
| 2D felszíni-víz modell | - vízsebesség, áramlási irány, mederfenéki nyírófeszültség, vízszintek, vízmélység (a háló minden csomópontján, azaz 15 × 60 m-es rácsokban a medrekben)<br>- a vízhozam eloszlása a hullámtéren (a mederkitöltő vízállások felett)<br>- az elárasztások térbeli kiterjedése és időtartama (idősor-elemzéssel) |
| 1D morfológiai modell  | - a mederfenéki üledék eróziója/felhalmozódása, azaz a hosszanti profil változása (a keresztmetszvények átlagértékei segítségével)<br>- a görgetett hordalék szállítóképesség vizsgálata<br>- a görgetett hordalék szállításához szükséges megfelelő vízhozamok küszöbértékének megállapítása                  |
| 3D talajvízmodell      | - talajvízszint-vonalak, talajvíz-áramlási irányok, talajvízszint különbségek a vízhozamok és változatok összehasonlításához   |

A felszíni víz modellek az aktív ártérre voltak korlátozva, amely a felső határt jelentő rajkai szakasz (1850 fkm) és a bőszi alvízcsatornával való összefolyás (1811 fkm) között terül el. A talajvízmodell a főmedertől délnyugati irányban messze a Mosoni-Dunán túl terjedt.

A legtöbb modellfuttatás a főmeder és a magyar-oldali mellékágrendszer esetében állandó vízhozam-inputtal történt. A különböző vízhozamok hatásainak vizsgálatához egy 200 és 750 m<sup>3</sup>/s közötti és egy magasabb, 2000 és 4000 m<sup>3</sup>/s közötti vízhozamot, valamint a 2002. augusztusi árvízi vízhozamot elemeztük. A magyar mellékágrendszerben 40-180 m<sup>3</sup>/s közötti betáplálás történt a főmeder különböző vízhozam-értékei mellett. A morfológiai modell és a vegetáció-szukcessziós modell vízhozam-idősorokat használt a szimulációban.

A 3. táblázat azoknak a modell eredményekből származó paramétereknek a listáját tartalmazza, amelyeket indikátorként használtunk az élőhelyek állapotának és minőségének értékeléséhez a jelenlegi állapot és a változatok elemzésekor (vö. 1. táblázat). A modellszimulációk óriási mennyiségű grafikus és numerikus adatot szolgáltatottak, különösen a változatokban előforduló és a jelenlegi állapotra érvényes vízhozam-forgatókönyvek nagy száma miatt. Az eredmények a következőket foglalták magukba:

- A vízhozam-eloszlásokat, vízmélység-adatokat, vízsebességeket és a nyírófeszültséget bemutató térképek (1D és 2D)
- A nyírófeszültségre vonatkozó meghaladási görbék területekre lebontva (2D)
- A főmeder és a fő mellékágak hosszanti vízszintprofiljai a 200+40 és 750+10 m<sup>3</sup>/s közötti (1D), a 930 és 4000 m<sup>3</sup>/s közötti, továbbá a 2002. augusztusi árvíz vízhozam-értékeinél (2D)
- A keresztmetszvények, a főmeder és a mellékágak vízszintgrafikonjai (1D)
- Hosszanti mederprofilok, a változatok összehasonlítása a jelenlegi állapottal (morfológiai modell)

- Talajvíz potencia térképek a jelenlegi állapotra és a változatokra, különböző vízhozamok esetén
- Talajvízszintre vonatkozó különbségtérképek a vízhozamok különbségeire a jelenlegi állapotban és a változatok esetén
- A talajvízszintre vonatkozó különbségtérképek különböző vízhozamok esetén a jelenlegi állapotra és az egyes változatokra,
- Egydimenziós adatokat tartalmazó Excel fájlok minden keresztshelvényre
- Alakfájlok 2D adatokkal

### Az értékelés módszere

Az élőhelyi állapotok esetében az értékelés alapjául a 3. táblázatban felsorolt indikátorok elemzése szolgált. A további értékelések kitértek a vízi élőhelyekre, a halfaunára, az oldalirányú és hosszirányú összeköttetésre és a szárazföldi élőhelyekre (amelyek főleg a növényzet változásán alapultak). Az elemzést a jelenlegi állapotra és a 2. táblázatban bemutatott rehabilitációs intézkedésekre (változatokra) végeztük el.

- **A felszíni vízszint ingadozásai**  
A vízszintingadozások tartományát a főmeder, a mellékágak és a kanyarulatok ág reprezentatív keresztshelvényeiben elemeztük a következő vízhozamokkal jellemezhető forgatókönyvekre<sup>1</sup>: 550+80 mínusz 220+40 (főmeder), 550+120 mínusz 200+40 (mellékágak), 750+120 mínusz 200+40 (főmeder és mellékágak), 550+120 mínusz 200+40 (kanyarulatok ág, Meanderező INTERREG változat), 50+400 mínusz 50+100 (kanyarulatok ág, Meanderező (400) változat).
- **Vízsebességek**  
Ugyanezen keresztshelvényeknél az 1D modellekből származó átlagos vízsebességeket is kielemeztük a következő vízhozammal jellemezhető forgatókönyvek esetére: 200+40, 550+80, 750+120 (főmeder, mellékágak, kanyarulatok mellékág a Meanderező INTERREG változatnál), 50+100, 50+400 (kanyarulatok ág a Meanderező (400) változatnál); ezen kívül összehasonlítottuk a mederszakaszok összesített átlagait.
- **A talajvízszint dinamikája**  
A talajvízszint-választ a talajvízszintet ábrázoló különbségtérképek alapján elemeztük, amelyek a változatok és a jelenlegi állapot közötti különbségeket mutatják a következő vízhozammal jellemezhető forgatókönyvek esetén: 200+40, 350+80, 550+120, 750+120 és 50+400 (csak a Meanderező (400) változatnál). A talajvízszint-ingadozásokat a különbségtérképek alapján becsültük meg a következő vízhozammal jellemezhető forgatókönyvek esetén: 350+80 mínusz 200+40, 550+120 mínusz 350+80, 750+120 mínusz 550+120, 750+120 mínusz 200+40 és 50+400 mínusz 50+100 (csak a Meanderező (400) változat esetében).
- **Morfodinamika (nyírófeszültség)**

<sup>1</sup> Az 550+80 azt jelenti, hogy 550 m<sup>3</sup>/s folyik a főmederben és 80 m<sup>3</sup>/s kerül a Dunakiliti feletti magyar ágrendszerbe.

Az elemzést a mederfenéki nyírófeszültség hosszanti profiljai alapján készítettük el, a főmeder esetében 750+120 (1D eredmény), a kanyarulatok ágánál pedig 50+100/400 vízhozamoknál (1D eredmény, csak a Meanderező (400) változat esetében). Ezen kívül felhasználtuk a 750+800, 2000 és 3000 m<sup>3</sup>/s vízhozamokra vonatkozó nyírófeszültség-meghaladási elemzéseket, valamint a nyírófeszültség térbeli eloszlását ábrázoló térképeket (2D eredmények).

- **Vízjárás**

A projektben érintett folyószakaszra 1992 óta jelentkező vízjárást a Dévénynél (Pozsony), Rajkánál és Dunaremeténél mért vízállások alapján elemeztük a következő adatok felhasználásával: tartóssági görbék (1992-2007), a napi vízhozamok éves átlagai (1992-2007), a teljes elöntést okozó árvizek éves száma (1950-2007), a leghosszabb ideig tartó árvízi elöntés időtartama évenként (1950-2007), az árvízi elöntések napokban számított időtartama évenként (1950-2007), az árvízi elöntés térbeli kiterjedése a jelenlegi állapotban és a változatok esetén (1995-2008, 2D eredmények).

- **Összeköttetés**

Az oldalirányú és a hosszanti összeköttetést a változatokra szakértői becslés segítségével állapítottuk meg.

- **Vízi élőhelyek**

A vízi élőhelyek állapotának értékelésekor a halfaunára összpontosítottunk: a különböző víztest-típusok összterületének változása, a reofil, tágtúrúsú és stagnofil halfajok számának változása a különböző víztest-típusokban. A reofil halfajok preferenciáját is korreláltattuk a nyírófeszültséggel.

- **Átmeneti zónák és szárazföldi élőhelyek**

A vegetáció-szukcessziós modell megkülönböztette a puhafa erdőt, a ruderalis és félruderalis folyami társulásokat, a mocsarakat és a keményfa állományokat, és prediktálta ezen élőhelyek hosszú távú alakulását a jelenlegi állapot és a változatok esetében.

- **Árvízvédelem**

Kiszámítottuk a 2002. augusztusi árvízi vízszint profiljait a jelenlegi állapot és a változatok esetében. Az árvízvédelem hatékonyságának értékeléséhez 1 m-es koronamagasság-ráhagyást használtunk referenciaként. Ezen kívül a jéglevezetést is megvizsgáltuk szakértői becslés alapján.

## **A rehabilitációs koncepciók értékelése**

A rehabilitációs intézkedések értékelését mennyiségi adatbázis alapján végeztük el, az eredményeket azonban kvalitatív módon közöljük „+” és „-” jelekkel. A 4. táblázat a tanulmány 9. fejezetében részletezett eredményeket foglalja össze. Feltétlenül javasoljuk a részletes elemzés tanulmányozását a további tervezés és döntéshozatal előtt.

4. táblázat. A kulcsfontosságú paraméterek és intézkedések értékelése

| Koncepció                               | 1                       | 2        |                | 3     |                        |                 | 4                                    |
|---|-------------------------|----------|----------------|-------|------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Intézkedések                            | jelenlegi vízpótló +VVJ | Szűkítés | Opt. feltöltés | SZITE | Meanderező<br>(INTER.) | Meanderező(400) | Kiszélesítés<br>(oldalirányú erózió) |
| Kritériumok                             |                         |          |                |       |                        |                 |                                      |
| A talajvízszint emelkedése              | +                       | -        | +              | +     | +                      | +               | -                                    |
| Talajvíz dinamika                       | +                       | -        | -              | (-)   | +?                     | -               | -                                    |
| Felszíni vízszint dinamika              | (+)                     | -        | +              | -     | +                      | +               | -                                    |
| Morfodinamika (az élőhelyek megújulása) | -                       | -        | (+)            | -     | +                      | +               | +                                    |
| Oldalirányú összeköttetés               | -                       | -        | +              | +     | +                      | +               | -                                    |
| Hosszirányú összeköttetés               | +                       | +        | +              | -+    | (-)                    | (-)             | +                                    |
| Reofil fajok                            | -                       | -        | -+             | +     | -+                     | -+              | -                                    |
| Árvízlevezetés                          |                         | -        | -              | +     | -                      | -               | +                                    |

VVJ = változó vízjárás (ebben az esetben a jelenlegi állapotra jellemző vízhozam általános növelését jelenti)

|    |   |
|----|---|
| -- | számottevően rosszabb a jelenlegi állapotnál                                      |
| -  | nem megfelelő állapot   |
| -+ | még elfogadható, de a referenciaállapottól távoli állapot                         |
| +  | az állapot javulása, elfogadható, de még mindig messze van a referenciaállapottól |
| ++ | jelentős javulás vagy a referencia állapothoz viszonyítva elfogadható állapot     |

### 1. koncepció: Jelenlegi állapot + megnövelt vízhozam

**Változó vízjárás.** A fő Duna-mederben a vízhozam általános emelkedése javítja bizonyos reofil halfajták vízi élőhelyi feltételeit. További beavatkozások nélkül a mellékágrendszerben a nagyobb vízhozamok nem javítanak jelentősen a vízi élőhelyi feltételeket, mivel a jelenlegi vízjárás már most is mederkitöltő vízhozamokat eredményez a szezonális ingadozás mellett. Az árvízi elöntések hatékony eloszlása a talajvízszint éves ingadozásait is növelni fogja, valamint elősegíti a szárazföldi élőhelyek elárasztását, amivel kidomborítja a folyami ártéri ökoszisztéma dinamikus jellegét.

**A vízi élőhelyekre gyakorolt hatások:** Bár a vízi élőhelyek diverzitása romlott a referenciaállapothoz viszonyítva, a *főmeder* még mindig megfelelő vízsebességeket és szubsztrátumokat biztosít a reofil makrozobontosz- és halguildek fenntartásához a kisebb vízhozamok ellenére is. A mellékágakkal való összeköttetés hiánya továbbra is jelentős hiányosságot jelent a vízi fauna szempontjából. A *mellékágrendszerben* azonban az élőhelyi feltételek a 85 m<sup>3</sup>/s átlagos éves vízhozam és az alkalmankénti elárasztás ellenére sem alkalmasak a reofil guildek számára. Ezt nemcsak a kis vízsebességek okozzák, hanem az uralkodó finom üledékek is. Még a nagyobb árvízi vízhozamok sem alkalmasak arra, hogy

hatékonyan mobilizálják a finom üledékeket a mellékágrendszerben. A mellékágrendszerben a vízhozam növelésének lehetőségét a meder geometriája korlátozza.

**Átmeneti zónák.** 1970-ben még léteztek az övzátonyok a *főmederben*, pionír növényzettel vagy anélkül. Ezek fontos átmeneti zónákat jelentettek, főleg amiatt, hogy a folyópart kőrákásokkal volt védve. 2008-ra az összes övzátony szárazföldi élőhelyé alakult, amelyen puhafa erdők és bokorfüzesek nőttek, így a főmederben átmeneti zónát csak a korábbi övzátonyok mentén lévő keskeny partszakaszokon találhatunk. A *mellékágrendszerben* is hasonló a kavicszátonyok csökkenése, mint a főmederben. Mivel a mellékágakban a partok többségét nem fedi kőrákat, fontos átmeneti zónát jelentenek. A szezonális vízszintingadozások (70-80 cm) még nagyvizek esetén is meglehetősen kis területeket szorítkoznak a referenciaállapottal összehasonlítva. Kicsi a pionír társulások kialakulásának lehetősége.

**Szárazföldi élőhelyek.** A természetvédelmi szempontból fontos puhafa erdők fejlődésével kapcsolatban javulás csak megnövelt vízhozamoknál várható. De minden bizonnyal az összes szárazföldi és félig szárazföldi élőhely-típusnak előnye származna az árteret legalább néhány napig elárasztó, gyakori árvizekből.

**Árvízlevezetési szempontok.** A projekt alsó szakaszán a koronamagasság-ráhagyás hiányosságait a Duna vízlevezető kapacitásának betorkollás alatti hiánya okozza. A visszaduzzasztó hatás miatt a projektszakaszon semmilyen intézkedéssel nem lehet hatékonyan hozzájárulni az árvízszintek csökkenéséhez a betorkolláshoz közeli szakaszon.

**A koncepció lehetséges javításai.** A *főmederben* a növényzettel borított övzátonyok uralkodó vízszintre való lecsökkentése kavicszátonyok és pionír állományok visszatelepedését eredményezné, ha ezt az intézkedést hatékony vízjárás egészítené ki. A növényzettel borított övzátonyok egy bizonyos területét mindig természetes folyópartnak kell meghagyni. A tervezett folyamatok támogatásához és fenntartásához szükség lehet arra, hogy megfelelő mennyiségű hordalékot tápláljunk a Duna főmedrébe. A külső partok kiválasztott helyein, rövid szakaszokon, el kell távolítani a kőrákat, hogy megkezdődjön a helyi alámosás és kisléptékű oldalirányú erózió az élőhelyi diverzitás növelése és a mederanyag biztosítása érdekében. A rendszeres monitorozás segíthet kézben tartani a nemkívánatos hatásokat. A vízsebességek és esetlegesen a szubsztrátumok összetételének bizonyos szakaszokon történő javítása érdekében mérlegelni kell a bukógátak eltávolítását a *mellékágrendszerben*. Az alsó projektszakaszon a Bagoméri-ágot csatlakoztatni kell a rendszerhez, és mérlegelni kell egy bukógát megépítését a Dunával való utolsó csatlakozási pontnál.

## **2. koncepció: A rendszerek összekötése a mederszintek emelésével**

A szűkítéses változat nem bizonyult hatékonynak a vízszintek emelésében, mivel a legtöbb övzátony teteje az uralkodó vízszintek fölött volt. Az Optimális feltöltéses változat esetén feltártuk, hogy milyen szintre kellene feltölteni a medret a mellékági összeköttetés elérése érdekében. Valójában a két változat a „Mederszintek emelése” koncepció peremfeltételeit jelentik, és a koncepció szerinti rehabilitációs intézkedéseknek kellene meghatározni a mederszinteket és a megnövelt vízhozamokat egyaránt.

**Változó vízjárás.** Minden olyan feltöltéses vagy szűkítéses változat esetén, amely az Optimális feltöltéses változat alatti vízszintet eredményez, növelni kell a vízhozamokat. Ellenkező esetben nem jön újra létre az oldalirányú összeköttetés. Emellett az árvízi

vízhozamok megosztására lenne szükség ahhoz, hogy megkezdődjenek a mederformálódási folyamatok, és ezen belül az alábbiakban ismertetett természetes cementálódás.

**Vízi élőhelyek.** A *főmeder* feltöltésével gyorsan új övzátonyok alakulnának ki ugyanazokon a helyeken és hasonló hosszon, mint a meglévők. Az erózió, a szállítás és a lerakódás végezetül az uralkodó vízjáráshoz és a meglévő üledékekhez igazodó folyómedret hozna létre. A mederformáló folyamatok növelnék az élőhelyi diverzitást: mélyebb mederszakaszok éppúgy kialakulnának, mint sekélyes részek. Az *ágrendszerben* a vízi élőhelyek állapota nem fog változni a Jelenlegi állapothoz képest. Az Optimális feltöltéses változat esetében a *mellékágrendszerrel* való fokozottabb oldalirányú összeköttetés a számottevő javulást jelentő magasabb vízhozamoknál lenne elérhető.

**Átmeneti zónák.** Az új zátonyok kialakulása javítaná az átmeneti zónákat a *főmederben*. A *mellékágrendszerben* nem várható változás. A főmeder feltöltése csökkentené a vízszíningadozásokat, amely azonban kiküszöbölhető a szűkítés és a feltöltés együttes alkalmazásával.

**Szárazföldi élőhelyek.** A talajvízszintek az egész főmeder hosszán jelentősen emelkednének. A felszíni vízszint-ingadozások kisebb tartománya miatt azonban a talajvízszint-ingadozások csökkenését észleltük. Ennél a változatnál ez a szárazföldi növényzet hosszú távú fejlődése szempontjából hátrányt jelent.

**Árvízlevezetési szempontok.** Az Optimális feltöltéses változat a projektterület nagy részén megsérti a koronamagasságra vonatkozó követelményeket. Az árvédelemhez szükséges koronamagasság-ráhagyások biztosításával jelentősen korlátozódni fog a mederemelési- és szűkítési szabadság.

**A koncepció lehetséges javításai.** A vízszint a mederágyak megemelésével és a meder szűkítésével növelhető. A meder hatékony szűkítése nagyobb vízszíningadozásokat eredményezne változó vízhozamok mellett, mint a meder megemelése. A gyakorlati tervezés során kompromisszumot kell találni a mederszintek szűkítése és emelése között, hasonlóan a WWF javaslatában előírányzott mederformához. Ez szintén növelné a talajvízszint-ingadozásokat.

### ***3. koncepció: A vízrendszerek összekötése a vízszintek emelésével***

A koncepció fő célja, hogy a főmeder duzzasztásával megemeljük a víz- és a talajvízszinteket és helyreállítsuk a mellékágakkal való összeköttetést. A rehabilitációs intézkedések közé tartozik a három, zsilipes gátat tartalmazó SZITE-változat, valamint a hét gátat és különböző vízszállítási kapacitásokat tartalmazó két Meanderező változat. A Meanderező változatok megpróbálják fenntartani a folyó szabadáramlású jellegét, és áthelyezni az ökológiai funkciókat a főmederből a kanyarulatok ágba, vagyis megfelelő élőhelyi körülményeket teremteni a reofil halak összes életszakaszához. A Meanderező (INTERREG) változat továbbra is fenntartotta a mellékágak és a fő Duna-meder közötti jelenlegi vízhozam-megosztást. A Meanderező (400) változat megfordítaná a vízhozam-megosztást: max. 400 m<sup>3</sup>/s vízhozamot juttatna a kanyarulatok ágba, a fő Duna-mederben csak reziduális vízhozamot hagyva, amelyet a modellezés során 50 m<sup>3</sup>/s-nak feltételeztünk. Ebben a koncepcióban valamennyi változat magában foglalta a Bagoméri-ágot, vagy úgy, mint a kanyarulatok meder része, vagy úgy, mint egy bekötött mellékág.



**Változó vízjárás:** A SZITE változat esetén az élőhelyi körülményeket – különösen a főmederben – a vízhozamok növelésével lehetne javítani. Emellett a hatékony árvízi vízjárás támogatná a hullámtéri élőhelyeket, és bizonyos mértékig megakadályozná az elhatárolt részek eliszaposodását. A Meanderező (INTERREG) változat szintén hasznát látná a nagyobb vízhozamoknak. A Meanderező (400) változat nem függ a vízhozam növelésétől, feltéve hogy elfogadható a főmederben a kis mértékű reziduális vízhozam. Az árvízi vízhozamok megosztása főleg a szárazföldi élőhelyeket támogatja.

**Vízi élőhelyek.** A főmederben a SZITE változat meglehetősen egységes áramlási feltételeket teremt, különösen a felső lehatárolt részekben. A szubsztrátumon a homokos üledék az uralkodó. A legtöbb övzátany eltűnik, és nem járulhat hozzá az élőhelyi diverzitáshoz. Összességében romlanának a vízi élőhelyi körülmények a Jelenlegi állapothoz képest. Ugyanakkor a *mellékágrendszerben* a SZITE-változat esetén a létrejövő oldalági összeköttetés a jelenlegi állapothoz képest jelentős javulást jelentene.

A Meanderező (400) változat teljesen lehatárolná a főmedret, amely így majdnem állóvízzé válna, 5-10 cm/s-os vízsebességgel és finomszemcsés üledék lerakódásával, míg a Meanderező (INTERREG) változat a legtöbb szakaszon meghagyná a jelenlegi 30-40 cm/s-os vízsebességet. A *kanyarulatok ágakban* mindkét változat a főmeder jelenlegi 200 m<sup>3</sup>/s-os vízsebességéhez hasonló sebességeket hozna létre. A Meanderező (400) oldalág szélessége hasonló a jelenlegi Duna-csatorna uralkodó vízhozamoknál mért tényleges szélességéhez (150-200 m). A mellékág mentén a nyírófeszültség megoszlása lehetőséget teremtene a mederfejlődésre a mellékág hosszának nagy részén. Várható az övzátanyok kialakulása, a külső partok mentén történő alámosás, valamint a rövid szakaszokon jelentkező aggradáció és degradáció, ami változatos élőhelyi körülményeket teremt a vízi fauna számára.

**Átmeneti zónák.** A SZITE változat jelentősen kisebb vízszintingadozásokat eredményez a főmederben és a *mellékágrendszerben*, mint a kanyarulatok változatok. A zsilipek megfelelő működése esetén azonban a SZITE-változatban is növelhető az ingadozások tartománya. Ugyanakkor a főmederben a felduzzasztott szakaszok megemelt szintjein a vízszintingadozások a körakkal fedett partokon fordulnának elő, amelyek kedvezőtlen élőhelyet jelentenek az átmeneti zónák ökológiai funkciói szempontjából.

A Meanderező változatok esetében a *mellékágakban* az ingadozások mértéke meghaladja a jelenlegi értékeket, és az így létrejött átmeneti zónák (a legtöbb mellékág esetében) védelem nélküli partok mentén helyezkednek el. Emellett a várt mederfejlődés a Meanderező (400) változat kanyarulatok ágában létrejött övzátanyokkal is hozzájárulna az átmeneti zónák kiterjedéséhez.

**Szárazföldi élőhelyek.** A növényzet hosszú távú alakulására vonatkozó, talajvízszinten alapuló előrejelzések egyértelműen jobbak a Meanderező változatok esetében, mint a SZITE-változatnál: ez a puhafa erdőket és vizes élőhelyeket érinti. A zsilipek megfelelő működése esetén azonban a SZITE-változatban is növelhető a talajvízszint ingadozásainak tartománya. Csak a Meanderező változatok nyújtanak korlátozott lehetőséget a szárazföldi élőhelyek megújulásra a kanyarulatok ág mentén.

**Árvízlevezetési szempontok.** A SZITE változat esetében a koronamagasság-ráhagyás 10-20 cm-rel megnő a középső és felső szakaszon, ahol jelenleg sincsenek hiányosságok. Egyik változat sem járul hozzá a visszaduzzasztással jellemzett alsó szakaszokon az árvízbiztonság növeléséhez. A Meanderező változatok megsértenék a partmagassági követelményeket ha nem növelnék zsilipekkel a fenékküszöbök vízszállító kapacitását.

**A koncepció lehetséges javításai.** A SZITE változat esetében a vízsebességek és lehetőleg a szubsztrátumok összetételének javítása érdekében mérlegelni kell a bukógáták eltávolítását a *mellékágrendszerből*. A Duna fő medrében lévő duzzasztógátáknál a keresztező ág megvalósítását össze lehetne kapcsolni a SZITE változattal („kis meanderező megoldás”), ami új lehetőségeket nyújtana az ágak tekintetében.

A SZITE változatban a felszíni víz- és talajvízszint-ingadozás növelését a zsilipkapuk működtetésével lehetne megoldani. Ki lehetne dolgozni egy megfelelő üzemmódot a zsilipekhez, amelyben a kapuk kinyitásával csökkenteni lehetne a vízszinteket. A mellékágakban megoldásokra lenne szükség ahhoz, hogy nyitott zsilipeknél megelőzzük a leürülést.

A további tervezés során a Meanderező változatok esetében újra mérlegelni kell a duzzasztógáták helyét és számát. A jobb árvízvédelem érdekében a Meanderező változatok duzzasztógátáit a SZITE által javasolt duzzasztógátákhoz hasonlóan kell megépíteni. A további tervezés során a Meanderező (400) változat esetében meg kell oldani a mellékágrendszer integrációját a kanyargó mellékághoz.

#### **4. koncepció: Másodlagos hullámtér létrehozása oldalirányú erózióval**

Ebben a koncepcióban elfogadott, hogy megmarad a főmeder és a jelenlegi hullámtér elkülönítettsége. Az oldalirányú összeköttetés nem lenne lehetséges. Egy másodlagos hullámtér hosszú távú kialakulását önálló, új ökoszisztémaként értékeltük. Egy alacsonyabban fekvő, másodlagos hullámtér elképzelt kialakulása olyan hosszú távú koncepciót jelent, amelynek fejlődése évtizedeken át tart majd. Ezt a koncepciót nem tanulmányoztuk részletesen. Bizonyos alapvizsgálatokat elvégeztünk morfológiai modellezés keretében és – a későbbi mederszintre vonatkozó feltevések alapján – feltártuk a hidrológiai reakciókat. A vizsgált terület tájképére és ökológiájára kifejtett hosszú távú következmények felderítése további vizsgálatokat igényelnek.

Ennek a koncepciónak az általános gondolata a mederfejlődés újbóli megindítása a laterális határok eltávolítása révén. Hatékony vízjárás mellett a természetes rendszeréhez hasonló mederformáló folyamatok várhatók, csak kisebb mértékben. Végeredményként egy új hullámtér tájelemei alakulnának ki egy egyre szélesedő folyami folyosó mentén, de alacsonyabb szinten.

**Változó vízjárás.** A koncepció alapvető elemét jelenti az árvízi vízhozamok megosztása azzal a céllal, hogy megfelelő időtartamú mederkitöltő vízhozamokat biztosítsunk a főmederben. A mederfejlődéshez anyagot biztosító hatékony oldalirányú erózió csak hosszabb időtartamú mederkitöltéshez közeli vízhozamoknál fordul elő. A magasabb ártérben az élőhelyeknek szintén előnyük származna a nagyobb mértékű és gyakoribb vízhozam-ingadozásokból.

**Vízi élőhelyek.** A *főmeder fokozatos kiszélesítése*, a szállítás és lerakódás, illetve a lokális alámosások végül az uralkodó vízjáráshoz adaptálódott és a partanyagokból hozzáférhető üledékeknek megfelelő folyómedret hoznának létre. A mederformáló folyamatok növelnék az élőhelyi diverzitást: mélyebb mederszakaszok éppúgy kialakulnának, mint sekélyes részek. Az évtizedek alatt kialakuló szigetek növelnék a termékeny partvonal hosszát. A vízi fauna számára előnyös lenne az élőhelyi diverzitás. A korábbi hullámtéri víztetekkel való összeköttetés hiánya évtizedes távlatokban kompenzálódhatna. *A régi hullámtérben a*

*mellékágak* nem változnának a Jelenlegi állapothoz képest. A reofil halfajok számára a mellékágakban továbbra is szuboptimális maradna az élőhely állapota.

**Átmeneti zónák.** A zátonyok és növényzettel borított szigetek kialakulásával kiváló minőségű átmeneti zónák jönnének létre a *főmederben*. A kisebb tartományra jellemző vízszintingadozásokkal egyenértékű különbségek alakulnának ki a másodlagos hullámtér új szintjén. A *mellékágakban* nem várható változás a Jelenlegi állapothoz képest.

**Szárazföldi élőhelyek.** Feltéve, hogy a mellékágrendszer vízellátása nem változik, a jelenlegi szigetközi hullámtéren található szárazföldi élőhelyek hosszú távú alakulása hasonló lenne, mint a Jelenlegi állapot esetében. Az előrejelzések az átlagos vízsebességektől függenek. A talajvízszintek megmaradnának, a talajvízszint-ingadozások pedig – főleg a projekt szakasz felső részén – csökkenhetnének. A koncepció előnyét az a lehetőség jelenti, hogy új szárazföldi és félig szárazföldi élőhelyeket és élőhelyi szukcessziókat alakítana ki a főmedren belül. Tartósságuk és a minőségük nagy részben a megállapításra kerülő vízjárástól függ.

**Árvízlevezetési szempontok.** A kiszélesített meder további koronamagasság-ráhagyást biztosítana az árvédelemhez. A koronamagasság hiányosságai az alsóbb szakaszokon nem oldhatók meg az összefolyás fölötti területen végzendő intézkedésekkel.

**A koncepció lehetséges javításai.** Az oldalirányú eróziós folyamatokat gátolhatja a hullámtéren nagy magasságig lerakódott kötött üledékek. Az eróziós folyamatok megerősíthetők a partanyagok mechanikus eltávolításával és a folyómederben történő szétterítésével, és a partokból eltávolított kőakatokból épített kormányzó műtárgyakkal (sarkantyúkkal), hogy felgyorsuljon a mederformálódás. A megfelelő technikákat a terepen kellene feltárni. A partok mentén a takaróréteg rövid szakaszokon történő mechanikai eltávolítása is elősegítheti a kiszélesítést, és ezáltal elkerülhető lenne a további finom üledékek lerakódása.

### ***Záró megjegyzések***

A tanulmánynak célja egy olyan megbízható adatforrás létrehozása, amely alapul szolgálhat a Dunának a Bős-Nagymarosi Vízerőmű és a korábbi beavatkozások által érintett szakaszát célzó rehabilitációval kapcsolatos jövőbeli döntésekhez. Körvonalaztuk a környezeti célkitűzéseket, és a referenciaállapot elemzése alapján kialakítottuk az igazodási pontok („benchmark”-ok) rendszerét, indikatív paraméterekkel. A vízhasználatból és az árvízvédelemből adódó kényszerfeltételeket figyelembe vettük. A jelenlegi helyzet és a kiválasztott intézkedések hidrodinamikai és morfodinamikai teljesítményét a felszíni vizek és a talajvíz modellezésével vizsgáltuk. A monitorozások eredményei alapján megvizsgáltuk a biológiai indikátorcsoportokat.

A Víz Keretirányelvnek megfelelően a tanulmány a referenciaállapotra, és az igazodási pontok („benchmark”-ok) összehasonlító értékelésre fókuszált a rehabilitáció és a környezetvédelmi célok körvonalazása érdekében. A kapcsolódó költségek és a műszaki megvalósíthatóság értékeléséhez további tervezés szükséges.

Egyik vizsgált intézkedés sem bizonyult „ideális megoldásnak”; a legnagyobb kihívás továbbra is megmaradt: a folyami és hullámtéri élőhelyeket megújító morfodinamikai folyamatok reaktiválása. Az a hajtóerő, ami korábban kormányozta a természetes rendszert, elveszítette a megfelelő éves árvízi vízhozamokat és a hordalék utánpótlását a vízgyűjtőről.

**Az olyan intézkedések, amelyek nem képesek beindítani a görgetett hordalék szállításához és az oldalirányú erózióhoz szükséges megfelelő hidraulikai erőket, és amelyek nem teszik lehetővé ezeket a folyamatokat, nem lesznek képesek hosszú távon fenntartani a szigetközi hullámtéri ökoszisztéma biodiverzitását.**

Ezért vizsgáltuk és tárgyaltuk meg a jelen tanulmányban a „hagyományostól eltérő” intézkedéseket is, azaz a „Kiszélesítéses változat”-ot, amely egy alacsonyabban fekvő másodlagos hullámtér hosszú távú kifejlődését vetíti előre, valamint a „Meanderező (400) változat”-ot, amely egy új, széles, kanyarulatós medret hozna létre a hullámtér szintjében.

Minden jövőbeli tervezésnél fel kell használni ezt az értékes adatforrást, amelyet hidrodinamikai modellezések és ökológiai vizsgálatok alapján készítettünk. Ez alapján fel lehet mérni a tervezett beavatkozásoknak az élőhelyi viszonyokra és az élővilágra gyakorolt hatásait a jelen tanulmányban körvonalazott és felhasznált kritériumok segítségével.