



SZIGETKÖZ

A folyószabályozástól a vízpótlásig

Egy nagyléptékű ártéri rehabilitáció története

Danube Region Water Lighthouse Action | Grant Agreement No. 101094070

2026

SZERZŐK

Ezt a könyvet a Széchenyi István Egyetem Vízgazdálkodási Kutatócsoportjának tagjai írták:

Dr. Bene Katalin

Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

Janák Emil

vízgazdálkodási szakértő; az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVIZIG) korábbi igazgatója

Ámon Gergely

Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

Chappon Máté

Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

Kálmán Attila

Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

Madarász Klaudia

Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

Dr. Richard P. Ray

Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék

IN MEMORIAM: KERTÉSZ JÓZSEF

Kertész József, az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság egykori szigetközi szakaszmérnöke nagylelkűen osztotta meg velünk rendkívüli helyismeretét és személyes történeteit azokról a mozgalmas évekről, amelyekről e könyv szól. Észrevételei és visszaemlékezései jelentősen hozzájárultak a könyvben bemutatott történet teljességéhez és hitelességéhez. Emellett számos, a kötetben szereplő fényképet is ő bocsátott rendelkezésünkre. Sajnálatos módon e könyv megjelenését már nem érhetette meg.

Ezúton is hálával és tisztelettel emlékezünk rá, valamint mindarra, amit a Szigetköz értékeinek megőrzéséért és megismertetéséért tett.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

E kiadvány elkészítését az Európai Unió Horizont Európa (HORIZON) keretprogramja támogatta a 101094070. számú támogatási megállapodás keretében.

JOGI NYILATKOZAT

Az Európai Unió finanszírozásával. A kifejtett nézetek és vélemények azonban kizárólag a szerző(k) álláspontját tükrözik, és nem feltétlenül egyeznek meg az Európai Unió vagy a CINEA álláspontjával. Sem az Európai Unió, sem a támogatást nyújtó hatóság nem tehető felelőssé ezekért.

ISBN 978-615-6443-63-2

A kiadványt gondozta PMS 2000 Mérnöki Társaság

Szigetköz a DALIA projektben: Egy hosszú távú rehabilitáció története

A Szigetköz a Duna egyik legjellegzetesebb ártéri tája és egyben a Horizon Europe Danube Lighthouse Action program keretében létrejött DALIA projekt 1-es számú demonstrációs mintaterülete (DPS-1), melyen keresztül bemutatásra kerül az elmúlt több, mint 30 év ártéri rehabilitációs tevékenysége a Szigetközben, továbbá összegyűjtésre és terjesztésre kerülnek a legfontosabb tapasztalatok és jó gyakorlatok, bízva abban, hogy az itt kidolgozott megközelítések más folyók sajátos adottságaihoz is hozzáigazíthatók.

A Duna szigetközi szakaszán – csakúgy, mint sok más vízfolyáson – a folyószabályozás, az árvízvédelem, a hajózás, a vízi-energia-hasznosítás és a változó területhasználat több mint egy évszázadon át fokozatosan alakította át a folyó és az árterre közötti kapcsolatot. A mai táj nem egyetlen építési projekt vagy egy rövid periódus beavatkozásainak eredménye, hanem természeti folyamatok és emberi tevékenységek hosszú sorának lenyomata.

A korai vízgazdálkodási intézkedések elsősorban a hajózást, az árvízi biztonságot és a vízvezetést szolgálták, míg a későbbi beavatkozások idején már problémaként jelentkezett a folyómeder mélyülése, a vízszintek csökkenése, a hullámtéri medrekkel való kapcsolatok gyengülése és az ökológiai állapot romlása is. A Duna 1992. évi elterelése, amelyre a bősi vízerőmű üzembe helyezésének részeként került sor, e meglévő problémák közül sokat tovább súlyosbított, összességében kritikus állapotokat előidézve.

Az elterelés ezáltal nagyszabású erőfeszítéseket tett szükségessé a hullámtér és a mentett oldal vízellátásának helyreállítása érdekében.

Ez a kiadvány röviden, közérthetően mutatja be a hosszú-távú rehabilitációs munka történetét, külön kiemelve, hogy a változó körülmények és prioritások között miként tervezték, valósították meg, tesztelték, módosították és terjesztették ki a szigetközi vízpótló rendszereket. A tanulmány különös figyelmet szentel a műszaki megoldások, az ökológiai célok, valamint a térségben élő és dolgozó emberek szükségletei közötti kölcsönhatásoknak.

A legfontosabb tanulság, hogy a rehabilitáció nem csupán a folyók helyreállításáról szól, hanem az emberek és a természeti folyamatok közötti kapcsolatok újjáépítéséről is. A sikerhez minden esetben együttműködésre, műszaki szaktudásra, a helyi érintettek bevonására és hosszú távú elkötelezettségre van szükség.



1. ábra – DALIA-találkozó Szigetközben, 2023 őszén

Miért fontos Szigetköz története?

Az ártér rehabilitációja nem visszatérés a múltba, hanem egy kísérlet az élő rendszer működésének helyreállítására a megváltozott feltételek között.

A Szigetköz története e különleges folyóvízi táj több évszázados átalakulását öleli fel: a természetes állapotában folyamatosan változó, „ezer sziget országa” a folyószabályozás, az árvízvédelem, a vízelvezetés és a vízenergia-hasznosítás egymást követő szakaszaig. A Duna 1992-ben történt elterelése döntő fordulat volt ebben a történetben, mert rövid idő alatt felerősítette az évtizedek óta kialakuló problémákat. Drasztikusan meggyengült a Duna és az ártère közötti kapcsolat. Számos mellékág elvesztette vízborítását, süllyedt a talajvízszint, károsodtak a vizes élőhelyek és az erdők. A megoldásnak egyszerre kellett választ adnia az azonnali vízhiányra és kezelnie a vízrendszer korábbi átalakításainak hosszabb távú következményeit.



2. ábra – Rehabilitált hullámtéri mellékág

E füzet négy központi kérdést követ végig: Mi változott meg Szigetközben, és miért? Miért maradt víz nélkül az ártér nagy része? Hogyan működnek a vízpótló rendszerek? Mi javult, mi maradt továbbra is megoldatlan, és mit tanulhatnak e tapasztalatokból más folyórehabilitációs projektek?

A tágabb történet 34 rövid epizódban bontakozik ki. A füzet elolvasható az elejétől a végéig; így kirajzolódik a teljes kép, de elkezdhető bármelyik rövid történetnél is. Ez utóbbi esetben a kapcsolódó témák között számozott hivatkozások vezetnek tovább.

A # szimbólummal számozott történetek között a szövegen belül elhelyezett kereszthivatkozások (pl. #21) teremtik meg a kapcsolatot és segítenek az olvasónak a témák és összefüggések nyomon követésében.

A Szigetköz jelentősége túlmutat a szűkebb térségen, mert megmutatja, hogyan valósítható meg egy ártéri rehabilitáció akkor is, amikor a korábbi természetes állapothoz már nem lehet visszatérni. Tapasztalatai azt bizonyítják, hogy a vízepítési szaktudást, az ökológiai ismereteket, a monitoringot, az érintettek együttműködését és az adaptív gazdálkodást évtizedeken át összehangolva sikerülhet a kitűzött célokat megközelíteni. Az egyes műtárgyak természetesen illeszkednek Szigetköz sajátos adottságaihoz, a tágabb módszer azonban – az okok feltárása, a korlátok figyelembevétele, a megoldások kipróbálása, az eredmények nyomon követése és az üzemeltetés adaptív módosítása – univerzálisan hasznosítható tanulságokkal szolgál.

Tartalom

Szigetköz a DALIA projektben: Egy hosszú távú rehabilitáció története.....	3
---	---

Miért fontos Szigetköz története?	4
---	---

1. FEJEZET

Dunaágak ölelésében	7
---------------------------	---

#1 Folyóvízi táj a Duna és a Mosoni-Duna között.....	8
#2 Egy víz formálta vidék	9
#3 A víz köré szervezett élet	10
#4 Ártér az ember szolgálatában.....	11

2. FEJEZET

Emberi beavatkozások és az ártér átalakítása	13
---	----

#5 Emberi beavatkozások áttekintése	14
#6 A folyószabályozások előtt	15
#7 Folyószabályozás, árvíz- és belvízvédelem	16
#8 Megborult hordalékegyensúly, súlyosbodó medermélyülés...17	

3. FEJEZET

A Duna 1992-es elterelése és annak következményei	19
--	----

#9 A bős–nagymarosi vízlépcső projekt	20
#10 A Duna elterelése 1992-ben.....	21
#11 A víz eltűnt a mellékágakból	22
#12 A száraz medrek csak a probléma felszínét jelentették.....	23

4. FEJEZET

Válságkezeléstől a közös tervezésig	25
---	----

#13 Azonnali intézkedések	26
#14 A visszatérő víz bizalmat teremtett	27
#15 Értékelemzés: előbb a célok, aztán a műtárgyak.....	27
#16 A múlt mint iránytű	29
#17 A folyó megváltozott	30
#18 Ökológiai igényekből mérhető célok	31

5. FEJEZET

A víz visszatér Szigetközbe.....	33
----------------------------------	----

#19 Az 1995-ös magyar–szlovák megállapodás	34
#20 A víz útja a rendszerben	35
#21 A vízpótlás kulcsa: Dunakiliti	36
#22 A Mosoni-Duna megújult vízpótlása	37
#23 Mentett oldali csatornák kettős szerepben	39

6. FEJEZET

A próbaüzemtől az üzemrendig.....	41
-----------------------------------	----

#24 A vízpótló rendszerek tanulói	42
#25 A próbaüzem fő tapasztalatai	43
#26 Tapasztalatokból hivatalos üzemrend	44
#27 Egy asztalnál Szigetközért	45
#28 Szabályozott hullámtéri elárasztás	46

7. FEJEZET

A vízpótlás eredményei és korlátjai	47
---	----

#29 A javulás látványos, de nem teljes körű	48
#30 Vízhatal és ökológia	49
#31 Újraéledő élőhelyek, megmaradó korlátok	50

8. FEJEZET

A rehabilitáció folytatása	51
----------------------------------	----

#32 A vízpótlás kiterjesztése Alsó-Szigetközre	52
#33 A Mosoni-Duna rehabilitációja	53
#34 Egy folyamat, amelynek nincs vége.....	55

Mik Szigetköz tanulságai más folyóvízi rehabilitációs projektek számára?	56
---	----

Szakirodalmi hivatkozások	57
---------------------------------	----

Képek és ábrák forrásjegyzéke	59
-------------------------------------	----

1. FEJEZET

Dunaágak ölelésében



#1 Folyóvízi táj a Duna és a Mosoni-Duna között

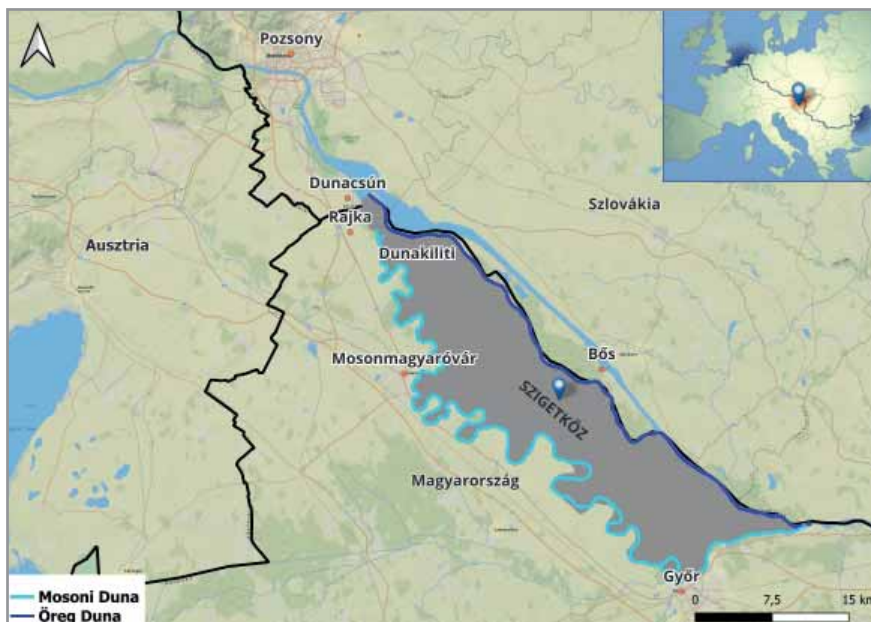
A Szigetköz ott jött létre, ahol a Duna lelassuló vize lerakta homokos, kavicsos hordalékát és ezáltal egy folyton változó, számtalan folyóágból és szigetből álló, fonatos ágrendszer hozott létre.

Pozsony alatt a Duna kilép az Alpok és a Kárpátok szorításából és a sík Kisalföldre ér. A folyó esésének csökkenésével a sebessége is mérséklődik, így a nagyobb hordalékszemcsék kiülednek. A területen így évezredek alatt hatalmas mennyiségű kavics és homok halmozódott fel egy kiterjedt hordalékkúpban. A folyó eközben újra és újra ágakra szakadt, majd újra egyesült, oldalirányban vándorolt, és számtalan szigetet épített a medrei között. Szigetköz az Öreg-Duna – amely ma Magyarország és Szlovákia határát alkotja – és a Mosoni-Duna, a legdélebbre fekvő Duna-ág között fekszik.

Mintegy 375 km²-es területével Magyarország legnagyobb szigeteként tartják számon. Az Öreg-Duna északi oldalán fekvő Csallóköz, szlovákul Žitný Ostrov, ugyanennek az országhatáron átnyúló hordalék- és vízrendszernek a része (Jakus és mtsai, 2024).

Szigetközt gyakran „szárazföldi delta” kifejezéssel illetik. E találó kifejezés leírja, hogy ugyan itt nem tengerparti delta torkolatról van szó, működése azonban hasonló: a víz és a hordalék számos meder között oszlik meg, így áramló szakaszok, holtágak, vizes élőhelyek, szigetek és ártéri erdők mozaikja alakult ki (#2).

Az árvízvédelmi töltések (#7) Szigetközt két fő övezetre osztják. A töltések közötti hullámtér továbbra is közvetlenül ki van téve a Duna nagyvizeinek. Ezzel szemben a töltések mögötti mentett oldal már nem kap rendszeresen közvetlen elöntést a folyóból.



3. ábra – Szigetköz elhelyezkedése a Duna mentén és a Rajna–Majna–Duna víziúton belül

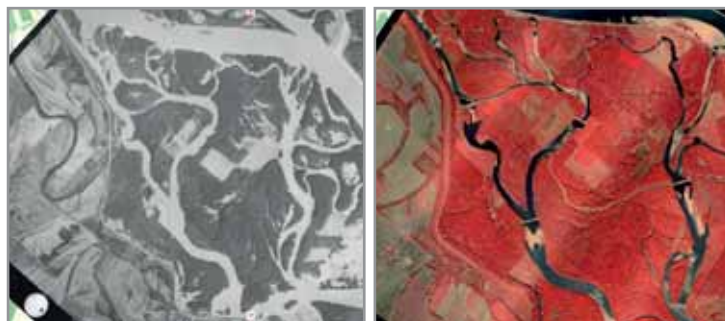
#2 Egy víz formálta vidék

A felszíni víz, a talajvíz, a talaj és a növényzet egyetlen, szorosan összekapcsolódó rendszert alkot Szigetközben.

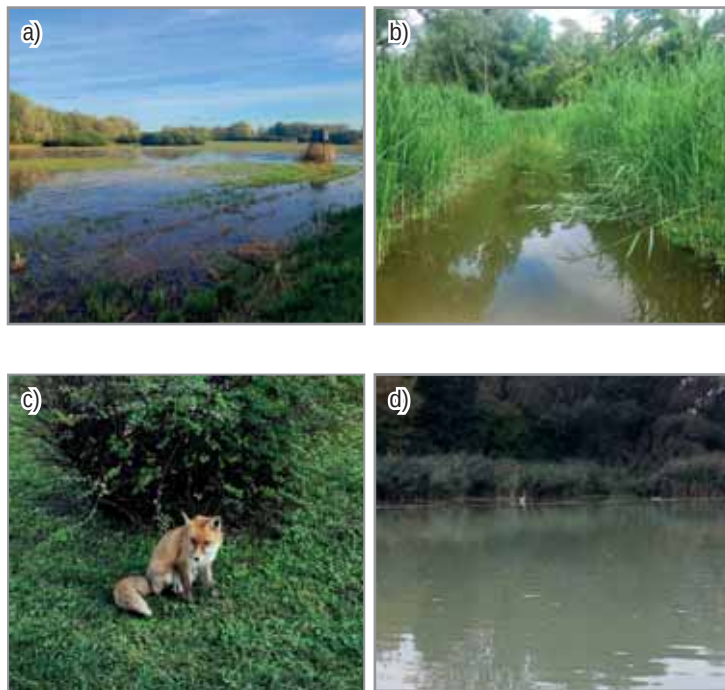
A víz a felszínen és a felszín alatt egyaránt formálta és formálja Szigetközt. A Duna valaha áramló mellékágak, sekély medrek, vizes élőhelyek és időszakosan elöntött területek sűrű hálózatát táplálta. Ugyanakkor a víz az ártér alatti vastag kavics- és homokrétegekben is mozgott, összekapcsolva a folyó vízszintjét a térség talajvízviszonyaival (#12).

A víz különböző útvonalai élőhelyek változatos mozaikját alakították ki. A gyakran elöntött területeken vizes élőhelyi növényzet és puhafa-ligeterdők nőttek, míg a magasabban fekvő, ritkábban elöntött felszíneken más növénytársulások és területhasználati formák alakultak ki. A helyi adottságokat a terepszint, a kavicsréteg mélysége, a talaj fedőrétegének jellege és a medrek közelsége, illetve a velük fennálló kapcsolat erőssége határozta meg.

A folyószabályozás fokozatosan csökkentette ezt a természetes változatosságot. Egyes mellékágak kapcsolata meggyengült a Dunával, ritkábbá váltak az időszakos elöntések, a vízrendszer egyes részein pedig csökkent a vízszint. Az 1992. évi elterelést (#10) követően ezek a változások felerősödtek: több mellékág teljesen víz nélkül maradt, visszaszorultak a nedves élőhelyek, és a növényzet egyre inkább az állandósuló száraz viszonyokat tükrözte. A későbbi rehabilitáció középpontjában a víz mellékágrendszerbe való visszavezetése (#20), valamint az áramló és állóvízű, nedves és időszakosan elöntött élőhelyek változatosabb mintázatának helyreállítása állt (Guti, 2020).



4. ábra – Hullámtér Ásványráró közelében 1965-ben és 1993-ban (fentrol.hu)



5. ábra – Szigetköz növény- és állatvilága: a) nedves rét; b) nádas és erdős hullámtéri mellékág; c) róka az ártéri növényzetben; d) nagy kócsag a hullámtéri mellékágrendszerben

#3 A víz köré szervezett élet

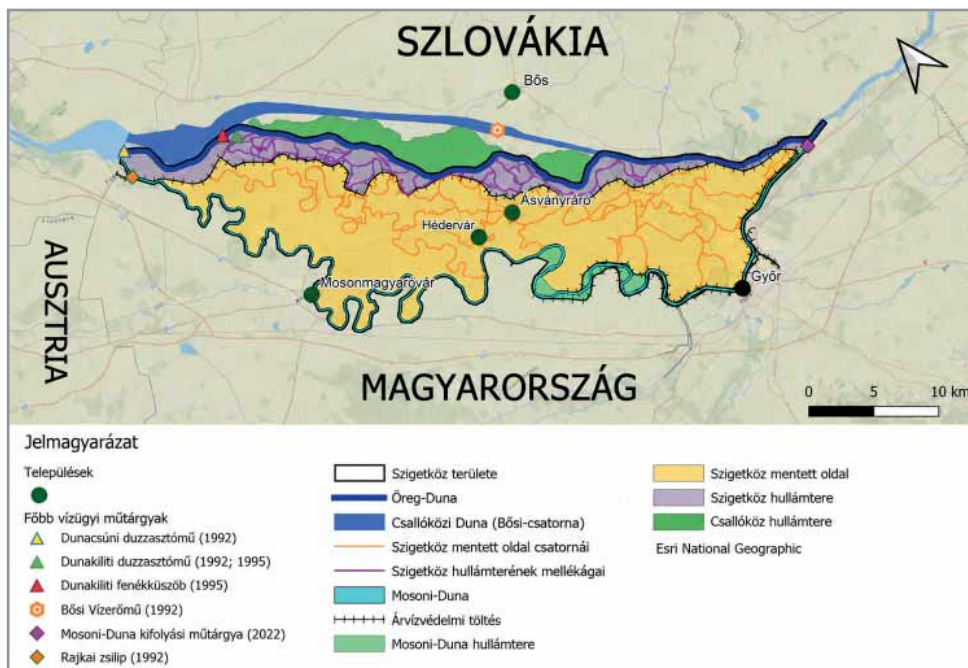
A természetvédelmi területek, a mező- és erdőgazdálkodás, a települések és a rekreáció ugyanazon az ártéri tájon osztoznak.

A Szigetköz nem érintetlen vadon, de nem is csupán mesterségesen kialakított kultúrtáj. A töltések mentett oldalán a táj nagy részét szántóföldek foglalják el, a művelt területeket azonban rétek, legelők, erdősávok, csatornák, holtágak, mocsarak, nádasok és nyílt vízfelületek szövik át. A töltések közötti hullámtéren folyóágak, természetes ártéri erdők és erdőültetvények találhatók.

A víz és az ember kapcsolata mindenütt fellelhető. A szivattyútelepek, zsilipek, töltések, a településszerkezet, a hagyo-

mányos megélhetési módok és a helyi szokások a Dunával való együttélés hosszú nemzedékek sorára visszatekintő emlékét őrzik.

Szigetköz rehabilitációja ezért nem csupán az élőhelyeket érintette, hanem egy olyan tájat is, amelyben a természet, az infrastruktúra, a területhasználat és a közösségek története továbbra is szorosan összekapcsolódik. A Szigetközi Tájvédelmi Körzetet 1987-ben hozták létre, később pedig a tágabb hullámtér jelentős területe a Natura 2000 hálózat részévé vált. A jogi védelem azonban önmagában nem tudta megőrizni ezeket az élőhelyeket. Állapotuk továbbra is a vízszintektől (#29), a vízminőségtől (#30), a medrek közötti kapcsolatoktól (#31), az időszakos elöntésektől (#28) és a környező területhasználattól függött (Fertő–Hanság Nemzeti Park Igazgatóság, é. n.).



6. ábra – Szigetköz áttekintő térképe

#4 Ártér az ember szolgálatában

Szigetközben nemcsak a természeti feltételek, hanem az itt élő emberek élőhelye, és megélhetése, valamint identitása is a Dunától függ.

Szigetközben a víz mindig is formálta a tájat és az arra épülő életet. A folyó és mellékágai ivóvizet biztosítottak, támogatták a mezőgazdaságot, az erdőgazdálkodást és a halászatot, később teret adtak a kapcsolódásnak és az idegenforgalomnak. A vizes élőhelyek, az erdők, a földek, a települések és a vízi utak ugyanannak a változó tájnak a részei voltak, és szorosan összefonódtak a térség identitásával.

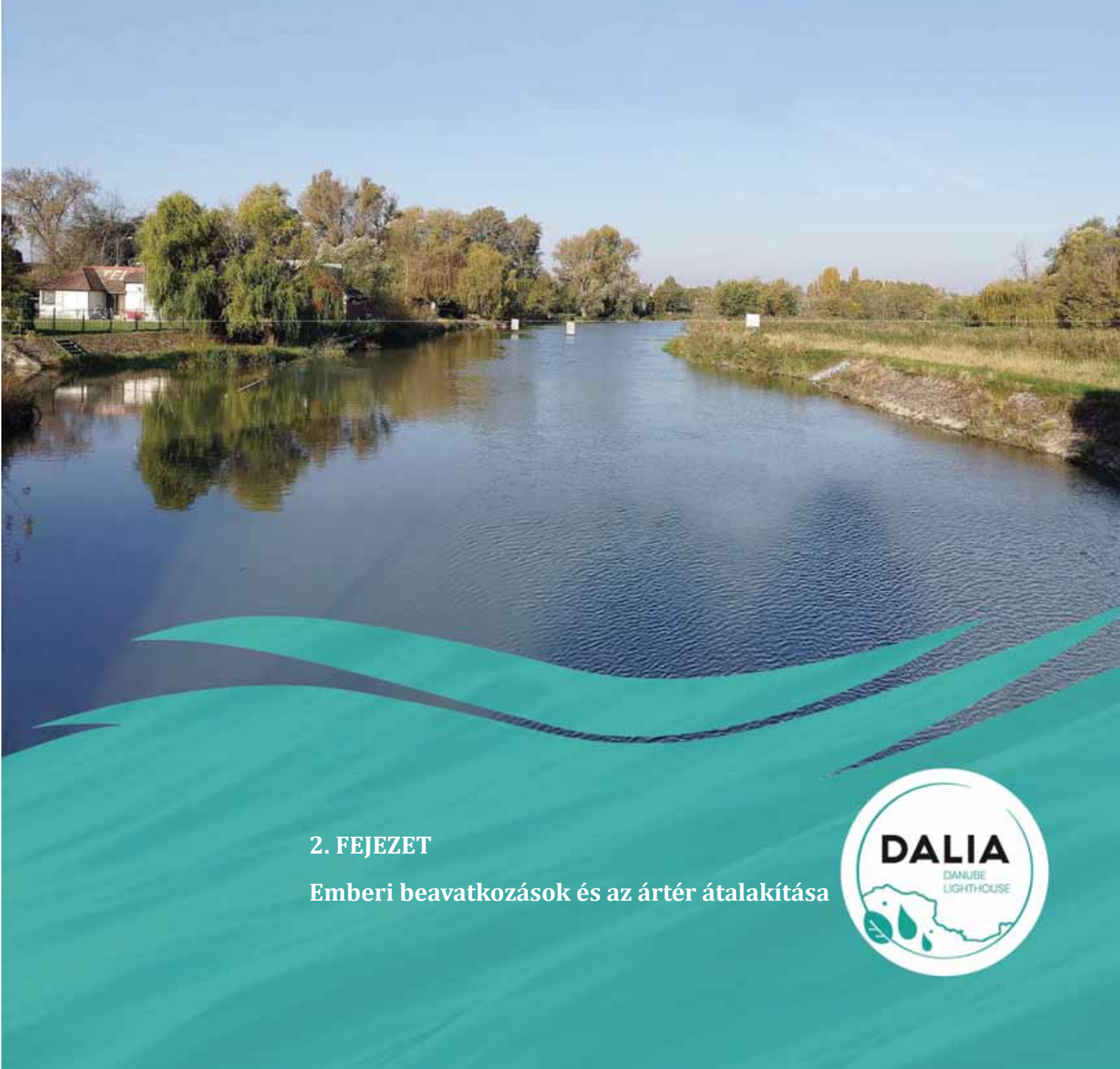
E tevékenységek számára nem mindig azonos vízviszonyok voltak kedvezőek. Az időszakos elöntés a vizes élőhelyeket és az ártéri erdőket segítette, míg a települések és az épített infrastruktúra hatékony árvízvédelmet követeltek.

A mezőgazdaság számára előnyös volt a megfelelő talajnedvesség, a tartós vízborítás azonban károkat okozhatott. A halak és egyéb vízben élő állatok átjárható élőhelyeket és változó vízszinteket igényelnek, a hajózás vagy a rekreáció viszont a kiszámíthatóbb körülmények fenntartásában érdekelt.

A folyó egyre erőteljesebb szabályozásával ezek az eltérő igények egyre inkább a felszínre kerültek. Az árteret és használatát egyaránt érintették azok a döntések, hogy hol tartsák vissza, illetve hol vezessék el a vizet (#23), illetve milyen gyorsan változnak a vízszintek. Így később Szigetköz rehabilitációja is az ökológiai igények, valamint a települések, a területhasználók és a helyi közösségek mindennapi szükségletei közötti egyensúly megteremtésére irányuló erőfeszítések során valósult meg (#15) (Chappon és mtsai, 2024b; Tatai és Pap, 2023).



7. ábra – Példák a területhasználatra és a vízhez kapcsolódó rekreációra Szigetközben



2. FEJEZET

Emberi beavatkozások és az ártér átalakítása



#5 Emberi beavatkozások áttekintése

Szigetköz története öt nagy korszakon át vezet a szabadon változó Dunától a ma fenntartott vízpótló rendszerekig.

1. Dinamikusan változó ártéri táj – 1800 előtt

A nagy léptékű szabályozás előtt a Duna mellékágak, szigetek és ártéri medrek alkotta fonatos ágrendszerben folyt (#6). A korai hajózási létesítmények, köztük a 17–18. században épített vontatóutak, igazodtak a folyóhoz, amelynek ágai az árvi- zeket követően gyakran megváltoztak.

2. Szabályozás, töltések és vízelvezetés – 1800–1959

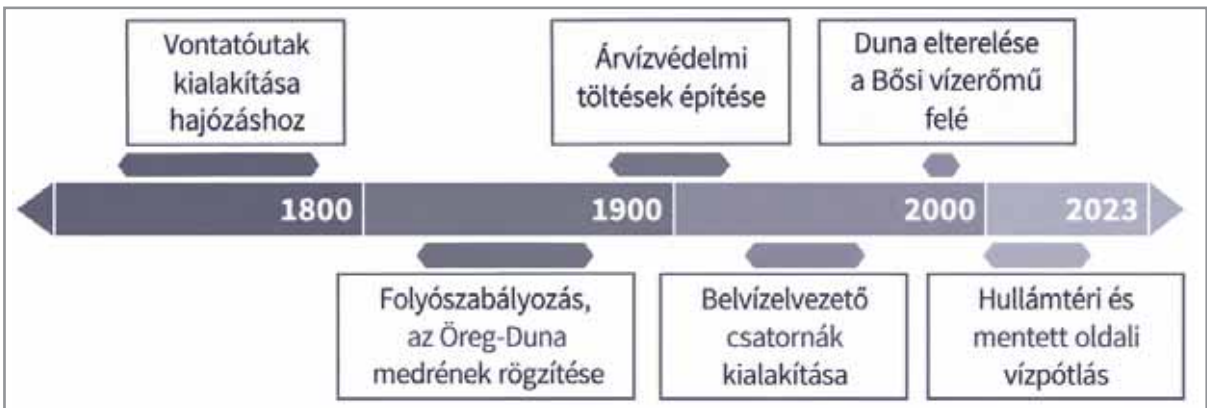
A 19. század folyamán a folyamszabályozási beavatkozások egyre inkább egy kijelölt főmederbe összpontosították a víz- hozamot, átalakítva és rögzítve a ma Öreg-Dunaként ismert medret. A hajózási célú munkák, a mellékágak lezárása és az árvízvédelmi töltések fokozatosan csökkentették a folyó köz- vetlen hatása alatt álló területet. A 20. század elején emelt árvízvédelmi töltések, a mentett oldali vízelvezető csatornák és szivattyútelepek, valamint a Rajkai (Trianoni) zsilip tovább módosították a víz mozgását a hullámtéren és a mentett ol- dalon (#7).

3. A vízi kapcsolatok gyengülése – 1960–1992

Az 1960-as évektől a hullámtéri mellékágak részleges lezá- rása, a kotrások, a Felső-Dunáról érkező kavicsmennyiség csökkenése és a folytatódó medermélyülés egyre inkább gyengítette az Öreg-Duna és a hullámtéri mellékágak közötti vízcserét. A meder mélyülésével csökkent az Öreg-Duna víz- szintje, és egyre nagyobb dunai vízhozam kellett ahhoz, hogy víz jusson a mellékágrendszerbe (#8).

4. Az 1992. évi elterelés

A Bős–Nagymarosi Vízlépcsőrendszer eredeti terve (#9) he- lyett végül 1992-ben, a nagymarosi és dunakiliti duzzasztók nélkül, az úgynevezett „C-variáns” került üzembe helyezésre. Ekkor a Duna vízhozamának mintegy 80%-át a bősi erőmű- telep üzemvízcsatornájába terelték (#10). Az Öreg-Duna víz- szintje ettől hirtelen jelentősen lecsökkent, magával húzva a hullámtéri mellékágak vizét, valamint a talajvízen keresztül a mentett oldali mellékágak vízszintjét is. Felső-Szigetközben számos folyóág kiszáradt (#11) és károsodtak az erdők, a vizes élőhelyek, a mezőgazdaság és a halászat (#12).



8. ábra – A Szigetközi árteret érintő legjelentősebb emberi beavatkozások idővonala, 1700–2023. (Chappon és mtsai, 2024b)

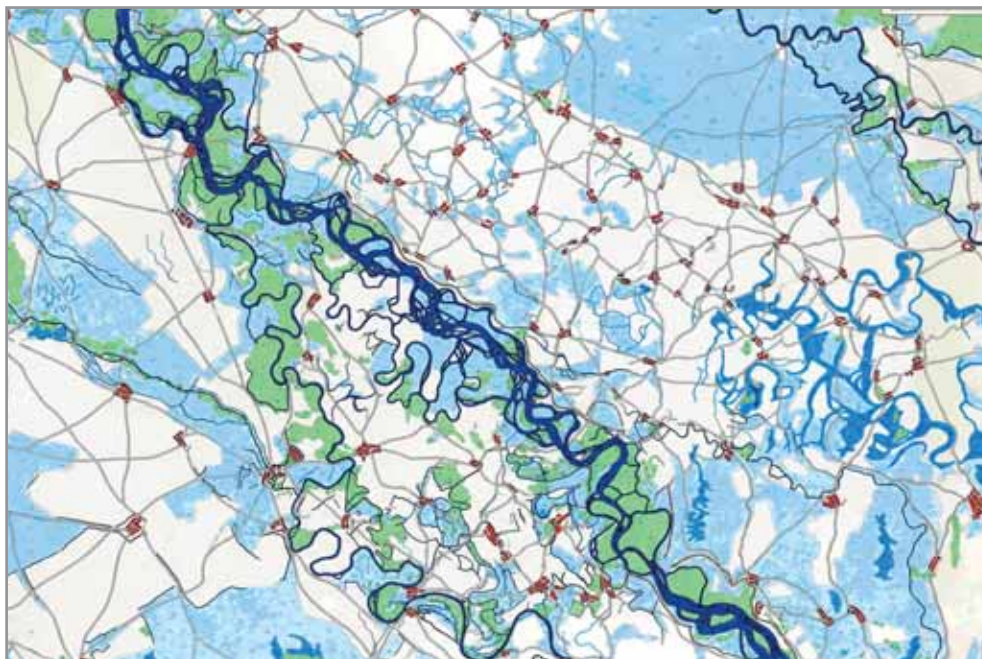
5. Szükségintézkedések és hosszú távú rehabilitáció – 1992-től napjainkig

Nem sokkal az elterelés után megkezdődtek a szükségintézkedések (#13). Ezek hatására a mentett oldalon 1993 tavaszára visszatért a víz a felső-szigetközi ágrendszer egyes részeibe, ami gyors és látványos javulást hozott. A hullámtéren alkalmazott szükségintézkedések eredménye változóbb volt: az ideiglenes szivattyúzás és a helyi beavatkozások rövid távú enyhülést adtak, de nem tudtak tartós vízszinteket biztosítani. Csak az 1995. évi magyar–szlovák megállapodás (#19) tette lehetővé a hullámtér szabályozott vízpótlását. A következő évtizedekben a rehabilitáció szabályozó műtárgyakkal, halátjárókkal, állandó üzemrenddel (#26), időszakos hullámtéri elárasztással (#28), majd az Alsó-Szigetközre (#32) és a Mosoni-Dunára (#33) kiterjedő projektekkel bővült. A rendszer üzemeltetését ma a Szigetközi Üzemelési Bizottság (#27) felügyeli.

#6 A folyószabályozások előtt

A szabályozás előtt a Szigetközi Duna nem rendelkezett állandó főmederrel.

A Duna Szigetközben nem egyetlen állandó medret követett. A víz a mellékágak kiterjedt hálózatában mozgott, amely hálózat az árvizek során újra és újra megváltozott. A medrek kiszélesedtek, beszűkültek, szétágaztak vagy fokozatosan feltöltődtek hordalékkal, miközben szigetek és kavicsátonyok keletkeztek, majd tűntek el. A 18. századi feljegyzések gyakori elöntésekről számolnak be és állandó átalakulásban levő tájként írják le a térséget. A legkorábbi mérnöki munkák még nem törekedtek a teljes folyórendszer szabályozására. A helyi gátak korlátozott árvízvédelmet nyújtottak, a hajózást pedig vontatóutak segítették.



9. ábra – A Szigetköz térségében rendszeresen elöntött területek kiterjedése a nagy léptékű folyószabályozás előtt, az 1763 és 1785 között készült első katonai felmérés alapján rekonstruálva. Forrás: A Duna szigetközi szakaszának rehabilitációja – megvalósíthatósági tanulmány (2010), a Duna Múzeum gyűjteményének anyaga alapján

Mivel a nagy árvizek után megváltozhatott a folyó nyomvonala, ezeket az útvonalakat és létesítményeket mindig újra kellett építeni, igazodva a változó viszonyokhoz.

A 19. században megváltozott a folyómérnöki beavatkozások célja. Ahelyett, hogy a hajózást folyamatosan a vándorló folyóhoz igazították volna, a szabályozás egyre inkább a vízhozam összpontosítására és a Duna főmedrének rögzítésére irányult (#7), így segítve a gőzhajózással meginduló nagytömegű áruszállítást. A töltések és a mederrendezési munkák fokozatosan csökkentették a rendszeresen elöntött ártér nagyságát, és elkezdték elválasztani a hullámteret az árvízvédelmi rendszer mögötti mentett oldaltól (#1). Ezzel megkezdődött az állandó körülmények kialakítására való törekvés, ami a későbbi beavatkozásokat is jellemezte (SEA, 2010).



10. ábra – Árvíz Szigetközben, 2024 szeptemberében

#7 Folyószabályozás, árvíz- és belvízvédelem

Az emberi beavatkozások segítették a kitűzött célok elérését, de közben alapvetően átalakították a Szigetközi árteret.

A 19–20. századi munkák javították a hajózás és az árvízi biztonság feltételeit, ugyanakkor megváltoztatták a víz mozgását az ártéri rendszerben.

A szabályozás előrehaladtával kialakítottak egy főmedret – az Öreg-Dunát, számos mellékágat pedig lezártak vagy beszűkítettek, így kapcsolatuk a főmederrel időszakossá vált. Az árvízvédelmi töltések ezt követően két jól elkülönülő övezetre osztották az egykor összefüggő árteret: a töltések közötti hullámterre és a mögöttük elterülő mentett oldalra.

A töltések csökkentették a települések és a mezőgazdasági területek közvetlen kitétségét az árvizeknek (#4), de nem szüntették meg a talajban történő szivárgást, az időnként előforduló magas talajvizet és az árvizek által okozott mentett oldali belvizeket. A 20. század elején és közepén ezért vízelvezető csatornákat és szivattyútelepeket építettek a mentett oldalon (#23) a belvizek elvezetésére. A hálózat részben egykori holtágakat és inaktív folyómedrek összekötése útján jött létre, melyek a vizet jellemzően délkelet felé, Szigetközt átszelve, a Mosoni-Duna irányába vezették.

1954 júliusában a Duna nagy árvize súlyos elöntéseket okozott, és feltárta a meglévő árvízvédelmi rendszer hiányosságait, rámutatva az erősebb és egységesebb védelem szükségességére. A későbbi munkák során megemelték és megerősítették a töltéseket, javították a szivárgás által érintett szakaszokat, és a teljes Szigetközre egységesítették az árvízvédelmet (SEA, 2010; Jakus és mtsai, 2024).

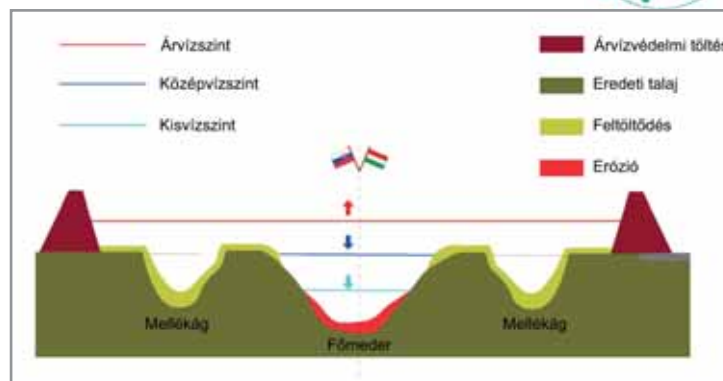
#8 Megborult hordalékegyensúly, súlyosbodó medermélyülés

A felvízi vízlépcsők visszafogták a hordalék utánpótlását, melyet súlyosbítottak a kavicskotrások, az Öreg-Duna medre közben egyre mélyebbre vágódott.

A Duna természetes módon kavicsot és más hordalékot szállít lefelé a tenger irányába. A 20. században a németországi és ausztriai vízlépcsők a durva hordalék jelentős részét visszatartották. A becslések szerint Rajkánál – ahol a Duna belép a szigetközi szakaszra – a görgetett hordalék utánpótlása az 1960-as évek évi mintegy 650 000 m³-es értékéről 1990 körülre évi mintegy 200 000 m³-re csökkent (Rákóczi, 1989).

Ha egy folyó továbbra is elegendő energiával rendelkezik a hordalék mozgatásához, de kevesebb hordalékutánpótlást kap, akkor gyakran saját medrét kezdi erodálni – mélyebbre ásni. Az ipari kavicskitermelés tovább súlyosbította ezt a jelenséget. A Duna medrének mélyülésével kis- és középvíznél csökkentek a vízszintek (#16). A hullámtéri mellékágak medre ugyanakkor nem mélyült, ezért egyre ritkábban, és csak mind nagyobb dunai vízhozamok esetén kaptak vízutánpótlást.

Árvizek idején továbbra is finom lebegtetett hordalék ülepedett ki a hullámtér lassabb áramlású részein. A rendszerben így két ellentétes folyamat zajlott: a főmeder mélyült, a mellékágakban és a hullámtéren pedig hordalék halmozódott fel. A két folyamat együttesen már a Duna 1992. évi elterelése előtt (#10) is gyengítette a hidraulikai kapcsolatot a Duna és a hullámtéri mellékágak között (Rákóczi, 1989).



11. ábra – Vízszint- és medermorfológiai változások az 1950-es éveket követő időszakban



12. ábra – Az Öreg-Duna Szigetközben kisvízi körülmények között



3. FEJEZET

A Duna 1992-es elterelése és annak következményei



#9 A bős–nagyvarosi vízlépcső projekt

A vízenergia-hasznosítás, a hajózást, az árvízvédelmet és a hullámtér vízellátását egyetlen nemzetközi nagyberuházással igyekeztek megoldani.

Magyarország és Csehszlovákia 1977-ben szerződést kötött a bős–nagyvarosi vízlépcsőrendszer megépítésére és üzemeltetésére. A terv Dunakilitinél egy duzzasztómű, Bősnél vízerőmű és hajósilip, valamint lejjebb, Nagyvarosnál egy kombinált duzzasztómű, hajósilip és erőmű megépítését irányozta elő. A terv része volt az is, hogy Szigetköz térségében vízenergia-termelési és hajózási célból a Duna vízének nagyobb részét egy 25 km hosszúságú mesterséges üzemvízcsatornába vezetik (Magyar Népköztársaság és Csehszlovák Szocialista Köztársaság, 1977).

Az eredeti elképzelés Szigetköz hullámterének vízellátását is magában foglalta. A Dunakiliti feletti tározó biztosította volna a mellékágrendszer táplálásához szükséges vízszinteket és vízmennyiséget. A tervezett rendszert azonban soha nem fejezték be az eredeti formájában.

Az 1980-as években Magyarországon erősödtek a környezetvédelmi aggályok és a politikai ellenállás. A nagyvarosi munkálatokat 1989-ben felfüggesztették. Csehszlovákia ezután kidolgozta a C-variánst (#10), egy olyan alternatív elrendezést, amely a projekt felső részének üzemeltetését a magyarországi dunakiliti és nagyvarosi létesítmények nélkül is lehetővé tette (Nemzetközi Bíróság, 1997).



13. ábra – Tervezési elképzelések és tervek: a bős–nagyvarosi vízlépcsőrendszer érintett térségét bemutató térbeli dombormodell fényképe (a); a bősi vízerőmű axonometrikus számítógépes rajza (b); a nagyvarosi vízlépcső látványterve (c).

#10 A Duna elterelése 1992-ben

A C-variáns a Duna vízhozamának mintegy négyötödét az üzemvízcsatorna felé terelte.

Csehszlovákia 1992 októberére megvalósította az úgynevezett C-variánst, azt az alternatív elrendezést, amely lehetővé tette a bósi vízerőmű üzemeltetését az eredetileg tervezett magyarországi – dunakiliti és nagymarosi – létesítmények nélkül. A folyó szabályozására és elterelésére szolgáló tervezett dunakiliti duzzasztómű helyett a Dunát Szigetköztől feljebb, akkori csehszlovák területen, Dunacsúnynál terelték el.

A Duna vízhozamának mintegy 80%-át a bósi vízerőművet kiszolgáló mesterséges üzemvízcsatornába vezették. A Dunacsúny alatti természetes meder – az Öreg-Duna – korábbi vízhozamának csupán töredékét kapta meg (Nemzetközi Bíróság, 1997; Jakus és mtsai, 2024).

A változás azonnali volt. Rajka közelében, a Szigetköz magyarországi szakaszának felső végénél az átlagos éves vízhozam hozzávetőleg 2000 m³/s-ról 200–400 m³/s-ra csökkent. Az Öreg-Duna vízszintje átlagosan mintegy három méterrel süllyedt. A nemzetközi projekthez eredetileg kapcsolódó hullámtéri vízpótló rendszer nem készült el (#9), ezért mind a mellékágrendszer (#11), mind a teljes vízrendszer (#12) drasztikusan megváltozott és súlyosan károsodott az új vízjárás mellett (Jakus és mtsai, 2024).

Csehszlovákia 1992 végén megszűnt, a jogvitában érintett utódállam Szlovákia lett. Magyarország és Szlovákia 1993-ban közösen terjesztette az ügyet a Nemzetközi Bíróság elé. A Bíróság 1997. évi ítélete jóhiszemű tárgyalásra kötelezte a két államot, de nem írta elő a vízmegosztáskor (#19) alkalmazandó feltételeket, hanem azok kidolgozását az érintett országokra bízta (Nemzetközi Bíróság, 1997).



14. ábra – A C-variáns és fő létesítményeinek elrendezése (a). A dunacsúnyi duzzasztómű (b) azért épült, hogy a Dunakiliti duzzasztómű (c) helyett az terelje a vizet az Öreg-Dunából a bósi vízerőmű (d) felé.

#11 A víz eltűnt a mellékágakból

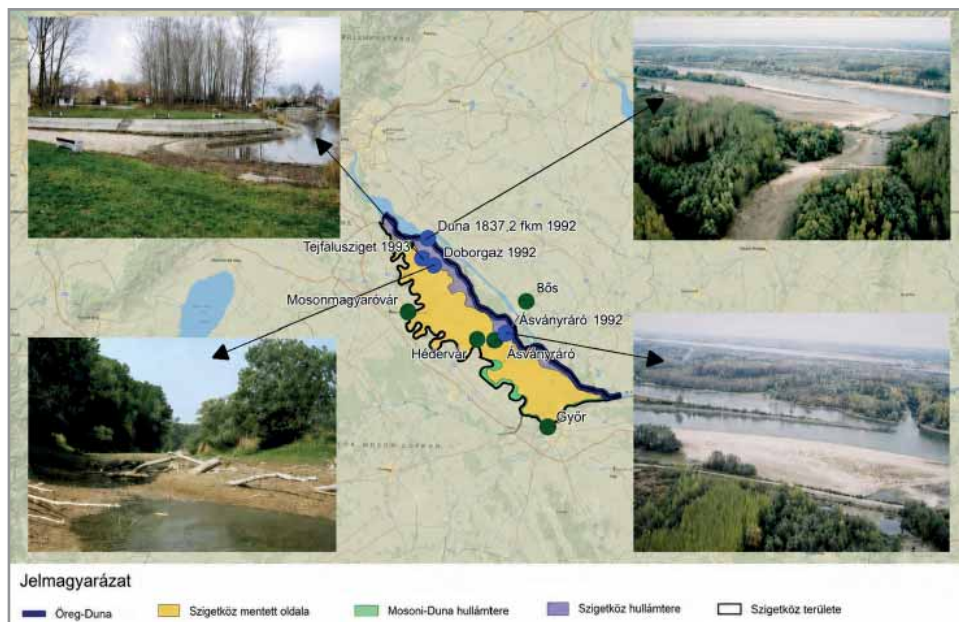
A leggyorsabb és leglátványosabb károk a Felső-Szigetközi árteret érintették.

A Duna elterelése után (#10) Felső-Szigetköz számos mellékága elvesztette felszíni vízutánpótlását. Mivel a tervezett vízpótló rendszer nem készült el, a hullámtéri és a mentett oldali ágak egyaránt kiszáradtak, egyes vízi élőhelyek pedig teljesen eltűntek.

A folyó vízszintcsökkenése a talajvízszintet is magával húzta, és ezáltal negatívan érintette a mezőgazdaságot, az erdőgazdálkodást, valamint a víztől függő élőhelyeket (#4) (KvVM, 1996; Gutí, 2020).

Az Ásványrárótól délkeletre eső alsó-szigetközi részt kezdetben nem érintette a változás. E terület állapota csak a következő évtizedekben romlott tovább, mivel a Bős alatti Duna-szakasz intenzív medermélyüléssel (#8) reagált az elterelést követően, ami kis- és középvizes állapotban csökkentette a folyó vízszintjét és az alsó mellékágrendszerekbe jutó víz mennyiségét. E jelenség idővel újabb beavatkozásokat tett szükségessé (#32) (Kertész, 2017).

A Szigetköz déli határát alkotó Mosoni-Dunán más jellegű, azonnali változás következett be. E folyóág vízellátása 1992 előtt kisvizes időszakokban időnként elégtelen volt, esetenként meg is szűnt. A módosított üzemrendben a Mosoni-Duna Dunacsúny felől folyamatos, mintegy 20 m³/s-os vízhozamot kapott, ami megbízhatóbb alaphozamot biztosított (#22). Ez a kedvező változás ugyanakkor nem tudta kompenzálni a Szigetköz egészét sújtó súlyos környezeti válsághelyzetet (Jakus és mtsai, 2024).



15. ábra – A Duna elterelésének hidrológiai hatása Szigetközben 1992 és 1993 között

#12 A száraz medrek csak a probléma felszínét jelentették

Az Öreg-Duna vízszintjének csökkenése nemcsak a mellékágakra volt hatással, hanem a felszín alatti vízrendszert is átrendezte.

Az 1992. évi elterelés (#10) leglátványosabb hatása a mellékágrendszer kiszáradása volt, de nem ez volt az egyetlen következmény. Az elterelés előtt Szigetköz nagy részén a talajvízszint nagyjából követte a Duna évszakos emelkedését és süllyedését. A víz a hullámtér alatti vastag kavicsrétegekben mozogva összekapcsolta a folyót a környező területek felszín alatti víztartóival és azon keresztül a talaj felsőbb rétegeivel.

Amikor az Öreg-Duna vízszintje mintegy három méterrel lecsökkent, ez a kapcsolat megváltozott. A talajvízszakutak számos területen 30–150 cm-es talajvízszint-süllyedést mutattak ki. A legerősebb hatás az Öreg-Duna közelében volt észlelhető.



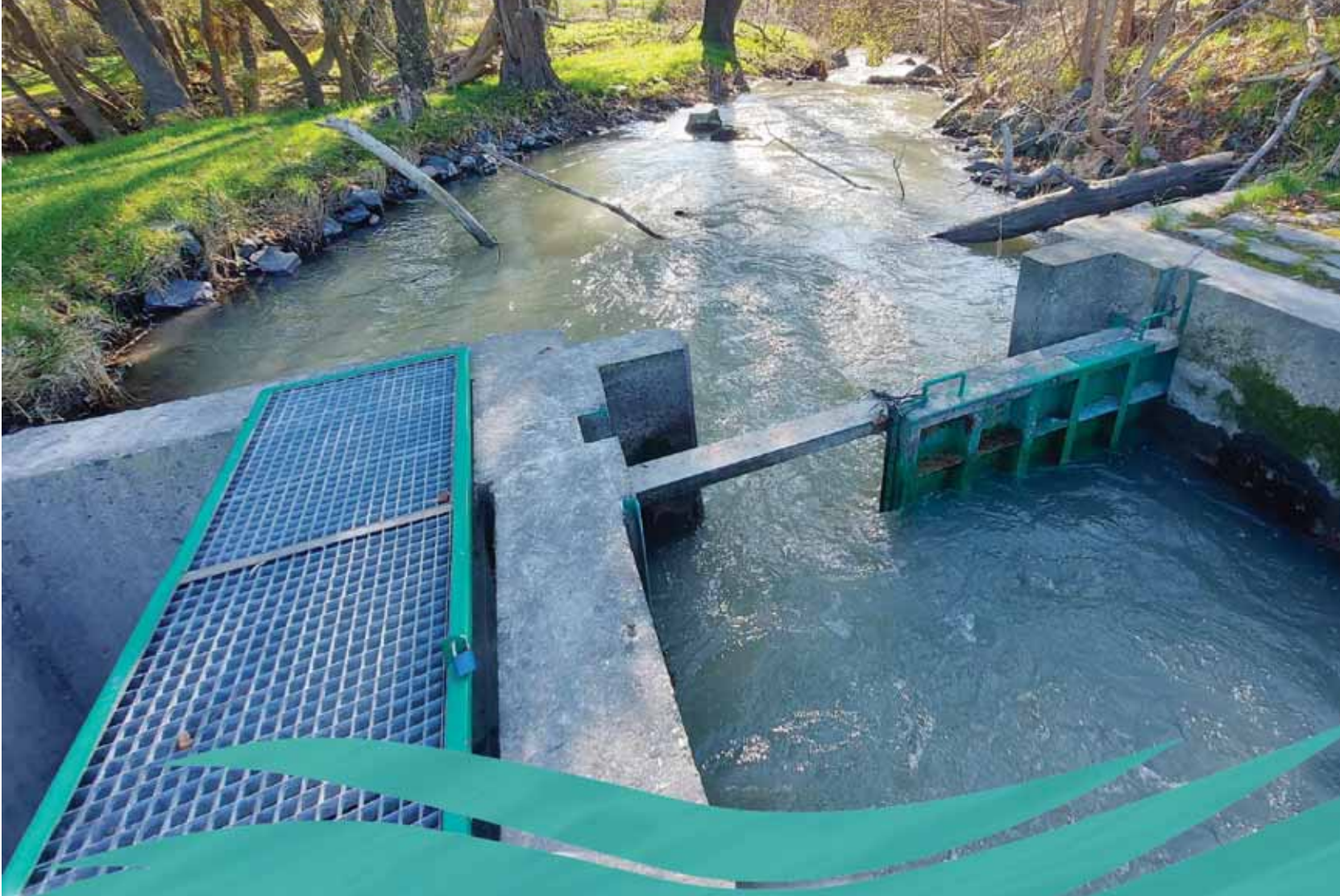
16. ábra – Kiszáradt hullámtéri mellékágak a Duna elterelését követően. Forrás: Fertő–Hanság Nemzeti Park Igazgatóság

Egyes helyeken az alacsonyabb folyóvízállás megváltoztatta, helyenként meg is fordította a talajvíz áramlásának korábbi irányát: a folyó a környező hullámtér táplálása helyett maga felé vonta a talajvizet. Hosszabb távon a talajvíz természetes évszakos ingadozása is számottevően csökkent (Bárdossy és Molnár, 2004; KvVM, 1996).

A következmények Szigetköz különböző részein eltérőek voltak. Érintették a felszíni és felszín alatti víztől függő természetes élőhelyeket, az ártéri erdőket és a mezőgazdasági területeket. A változás mértéke függött az Öreg-Dunától való távolságtól, a helyi mederkapcsolatoktól, valamint a talaj- és földtani adottságoktól (#29).

Mivel a legszembetűnőbb kárt a kiszáradt mellékágak jelentették, ahol a vízi élőhelyek egyes szakaszokon súlyosan viszszaeszkorultak vagy teljesen eltűntek, ezért az első beavatkozások (#13) is arra összpontosítottak, hogy visszajuttassák a vizet ezekbe a medrekbe. A szükségintézkedésekből nőtt ki később az egész Szigetközt behálózó vízpótló rendszer (#20), (#34) (KvVM, 1996; Dunai, 1995).





4. FEJEZET

Válságkezeléstől a közös tervezésig



#13 Azonnali intézkedések

Az elterelés utáni legfontosabb cél egyértelmű és sürgető volt: vizet juttatni a kiszáradt medrekbe.

Az azonnali beavatkozások során a már meglévő infrastruktúrára kellett támaszkodni. A Dunacsúny felől a Mosoni-Duna irányába átadott víz egy tápcsatornán és a szivárgócsatorna-rendszeren haladt keresztül (#22). A helyi vízügyi szakemberek azt javasolták, hogy ezt a vízrendszert kapcsolják össze a mentett oldali csatornarendszerrel (#23).

A tervet szükségintézkedésként hagyták jóvá. Egy oldalbukó és egy rövid tápcsatorna 2–5 m³/s vízhozamot vezetett a Zátonyi-Dunába – a felső-szigetközi mentett oldal egyik ágába – és a vele kapcsolatban álló medrekbe. Így az elterelés után mintegy hat hónappal újra megjelent a víz a felső-szigetköz mentett oldali csatornáinak egyes részein (Dunai, 1995).

A hullámtéren alkalmazott szükségintézkedések között dízelüzemű szivattyúzás és helyi vízelosztó létesítmények szerepeltek. Ezek csak rövid távon és szűk területen tudták enyhíteni a helyzetet, de folyamatos üzemük túl költséges, szennyező és megbízhatatlan volt. A víz nagy része gyorsan elszivárgott a kavicsos altalaj felé. Ez a tapasztalat megmutatta, hogy az állandó vízpótláshoz nagyobb vízmennyiségre van szükség. A későbbi vízpótló rendszer egyik központi tervezési alapelve is ekkor fogalmazódott meg: ahol csak lehetséges, gravitációsan kell megoldani az ártéri vízutánpótlást (#21), és kerülni kell a folyamatos szivattyúzást igénylő megoldásokat (Dunai, 1995).



17. ábra – A Zátonyi-Duna Doborgazsziget közelében 1992 novemberében, száraz állapotban (a), majd a víz visszatérése után 1993. májusban (b).

#14 A visszatérő víz bizalmat teremtett

A látható javulás utat nyitott a hullámtér jövőjéről szóló nyílt párbeszédnek.

A víz visszatérése a mentett oldali medrekbe (#13) megmutatta a lakosoknak, hogy a károk enyhítése lehetséges. Egyúttal erősítette a vízügyi szervek iránti bizalmat is egy olyan időszakban, amikor a vízlépcsőrendszer körüli politikai harcok megrendítették a közbizalmat. A bizalom elnyerése és megtartása, az eltérő érdekek összehangolása, a belső konfliktusok rendezése és az érintettek közötti kompromisszumkészség kialakítása a vízpótló rendszerek tervezésének, kivitelezésének és üzemeltetésének későbbi szakaszaiban is fontos kihívások maradtak (Chappon és mtsai, 2024b).

A megyei közigazgatási hivatal nyílt tervezési folyamatot kezdeményezett, amelyet az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVIZIG) irányításával folytattak le. A helyi önkormányzatokat, a térség gazdasági szereplőit, a környezetvédelmi szervezeteket és más helyi közösségeket felkérték igényeik meghatározására. A megbeszéléseket független szakértői csoport vezette, közreműködött a konfliktusok kezelésében, és biztosította, hogy a műszaki szakértők pártatlan tanácsadókként legyenek részt az egyeztetéseken (Janák és mtsai, 2014).

Az érintettek kezdeti elvárásai sok tekintetben ellentétesek voltak. Egyes környezetvédelmi szervezetek eleinte átfogó renaturalizációt szorgalmaztak, beleértve vízügyi műtárgyak, sőt árvízvédelmi töltések (#6) eltávolítását is. A gazdálkodók és az erdészek ugyanakkor a művelt területek és a megfelelő talajvízviszonyok védelmét hangsúlyozták. A versengő javaslatokat strukturált értékelemzési eljárásban hasonlították össze (#15) (SAVE International, 2015). Az árvízvédelem végül konszenzusos prioritás lett: valamennyi csoport elfogadta, hogy a töltéseket fenn kell tartani.



18. ábra – Egyeztetés a rehabilitációs rendszer tervezése során. Az érintettek részvétele kezdettől fogva a tervezési folyamat része volt: hozzájárult a célok, a korlátok és az üzemeltetési prioritások meghatározásához még az állandó rendszer véglegesítése előtt

Ezen alapfeltétel kijelölése után a figyelem az ökológiai rehabilitációra és az egyéb vízhasználati érdekek összehangolására összpontosulhatott (Janák és mtsai, 2014; Chappon és mtsai, 2024b).

#15 Értékelemzés: előbb a célok, aztán a műtárgyak

A tervezés a rendszer funkcióiból és az érdekeltek elvárásaiból indult ki, csak ezek tisztázását követően kezdődött a megoldási lehetőségekről szóló párbeszéd.

Az értékelemzés módszere rendszerbe foglalta a természetvédelem, a környezetvédelem, az erdő- és vadgazdálkodás, a mezőgazdaság, a halászat, az idegenforgalom és a vízgazdálkodás eltérő igényeit (#3). Az érintettek (#14) elsőként nem az egyes műtárgyak kialakításáról vitatkoztak, hanem először azt határozták meg, milyen funkciókat kell a rendszernek ellátnia. A fő funkciókat ezután a páros összehasonlítás módszerével rangsorolták, így az egymással versengő igényeket módszeresen össze lehetett vetni és be lehetett építeni az értékelésbe (SAVE International, 2015; ÉDUVIZIG, 2000a).

Funkciófák készültek, amelyek az átfogó célokat összekapcsolták az elérésükhöz szükséges gyakorlati feladatokkal és intézkedésekkel. A céloktól az intézkedések felé haladva a funkciófa arra adott választ: „Hogyan érhető el ez a cél?” Ellenkező irányban pedig azt lehetett kiolvasni: „Miért van szükség egy adott beavatkozásra?” A funkcióalapú megközelítés azt is feltárta, hol erősítik egymást az elérni kívánt célok és hol kell a konfliktusokat a funkciók térbeli vagy időbeli szétválasztásával, esetleg más üzemeltetési eszközökkel kezelni (Dunai, 1995; Janák és mtsai, 2014).

A mentett oldalon például a vízvisszatartás és a vízelvezetés igénye egyszerre nem volt maximálisan teljesíthető. A szabályozható műtárgyak, a tartózkodási idő korlátozása, az évszakos üzemeltetés és a kijelölt tározóterületek ugyanakkor lehetővé tették, hogy a két funkció egyazon vízhálózatban működjön elfogadható szinten (#23) (Tatai és Pap, 2023).



19. ábra – A Szigetköz mentett oldali vízpótló rendszer egyszerűsített funkciófája

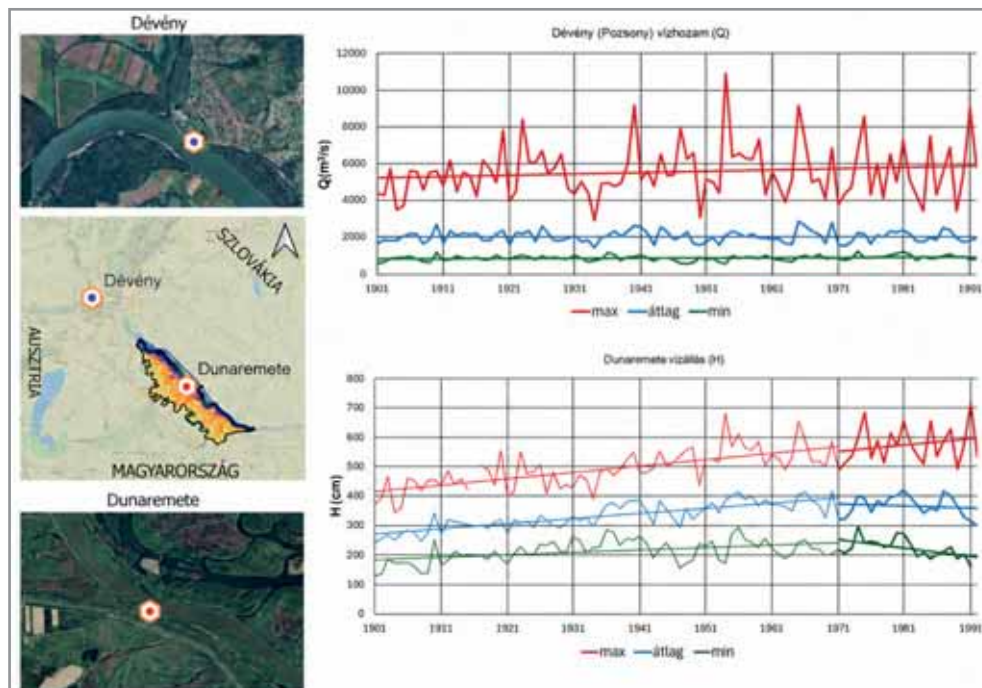
#16 A múlt mint iránytű

A tervezők feltárták a múltbeli vízjárási viszonyokat, hogy kiválasszák és számszerűsíthetővé tegyék az elérendő célállapotokat.

A Szigetköz középső részén található dunaremetei vízmérce 1901 óta biztosít folyamatos vízrajzi adatsort az Öreg-Dunán. A tervezők ezeket az adatokat összevetették a Duna pozsonyi (dévényi) vízhozamadataival, történeti információkkal, ökológiai ismeretekkel és az idősebb helyi lakosok tapasztalataival. Az 1950-es évek alkalmas referencia-időszaknak bizonyult: ekkor a hullámtéri ágak még szoros kapcsolatban álltak a Dunával, a vízszintek pedig dinamikusabban változtak, mint a későbbi évtizedekben.

A választás nem jelentette azt, hogy az 1950-es években a hullámtér érintetlen vagy természetes állapotú (#6) lett volna. Az árvízvédelmi töltések és a korábbi folyószabályozási művek már léteztek (#7). Ennek ellenére azért ezt az időszakot választották, mert jól dokumentált volt, és mert a Duna és hullámtéri mellékágak közötti kapcsolat még az érintettek által kedvezőnek ítélt módon működött.

A referencia-időszak reális irányt jelölt ki, nem pedig pontosan újrateremtendő történeti állapotot. A rehabilitáció az 1950–1959 közötti vízjárás fontos jellemzőinek – különösen a vízszinteknek, az áramlási kapcsolatoknak és a változékonyságnak (#18) – a visszaállítására törekedhetett mind a mentett oldalon, mind a hullámtéren, miközben figyelembe vette, hogy időközben maga a vízrendszer alapvetően megváltozott (#17) (Pannonhalmi, 1999).



20. ábra – Hosszú távú vízállás Dunaremetén és a Duna vízhozama Pozsonynál (Dévény)

#17 A folyó megváltozott

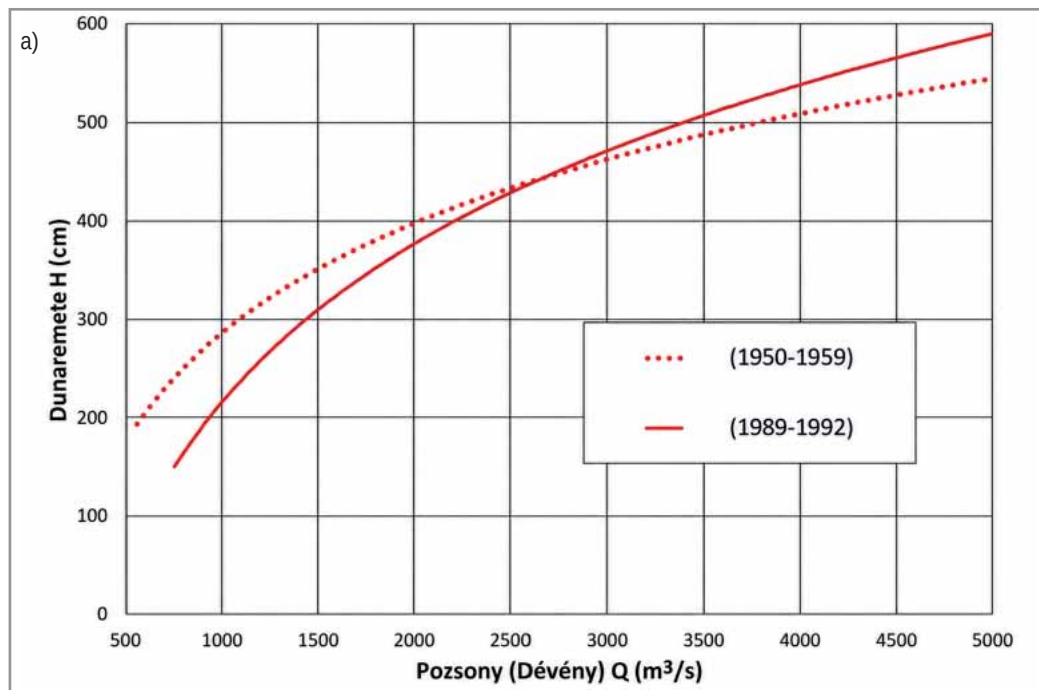
A régi vízhozamok már nem a régi vízállásokat eredményezték, mert az Öreg-Duna medre kimélyült.

A múltbeli adatok elemzése egy fontos problémára világított rá. A Duna pozsonyi (dévényi) vízhozama és a dunaremetei vízállás közötti kapcsolat jelentősen megváltozott az 1950-es évek (#16), illetve az 1992. évi elterelést (#10) közvetlenül megelőző időszak között. E változást a vízállás és a hozzá tartozó vízhozam kapcsolatát ábrázoló Q–H görbék tették láthatóvá (Pannonhalmi, 1999).

Kisebb dunai vízhozamok esetén Dunaremetén 1989–1992 között alacsonyabb vízállások alakultak ki, mint az 1950-es években.

Nagyobb vízhozamoknál azonban a vízállás magasabb is lehetett. Az Öreg-Duna medermélyülése (#8) lesüllyesztette a kisvízszinteket, a hullámtér változásai (#7) pedig a nagyobb vízhozamok idején kialakuló vízszinteket befolyásolták (SEA, 2010).

Mivel megváltozott a dunai vízhozam és a vízállás kapcsolata, ugyanaz a vízhozam Dunaremetén már nem eredményezte volna ugyanazt a vízszintet, mint a referencia-időszakban, mivel a folyó és a hullámtér morfológiája átalakult. A rehabilitációnak ezért a megfelelő vízellátást olyan műtárgyakkal kellett ötvöznie, amelyek képesek a mellékágrendszerben a vízszint megemelésére, a víz visszatartására és elosztására (Janák és mtsai, 2014).



21. ábra – A Duna pozsonyi (dévényi) vízhozama (Q) és a dunaremetei vízállás (H) közötti kapcsolat az 1950–1959-es és az 1989–1992-es időszakban (a); a dunaremetei vízmérce (b)

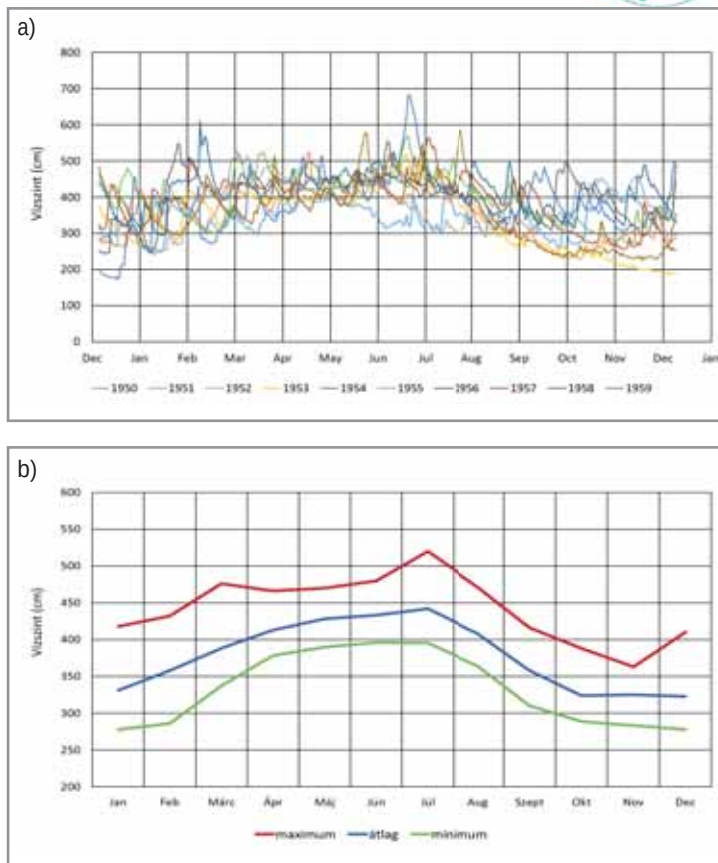
#18 Ökológiai igényekből mérhető célok

Nem egyetlen állandó vízszint elérése volt a cél, hanem a hullámtéri életközösségek számára szükséges változatosság és vízdinamika reprodukálása.

A történeti adatok szerint az 1950-es években a vízszint gyakran rövid idő alatt akár egy-két méterrel is változott. Ezek az ingadozások befolyásolták a sekélyvízű élőhelyeket, a mellékágak közötti kapcsolatokat és a víz hullámtéri mozgását. A kívánt hullámtér áramló medrek, lassúbb mellékágak, holtágak és részben elszigetelt víztestek mozaikja volt (#2). A vízpótló rendszer célja ezért nem egy állandó – például havi átlagos – vízszint tartása, hanem naponta változó viszonyok létrehozása lett (#31) (Pannonhalmi, 1999).

Az is fontos volt, milyen gyorsan halad át a víz a mellékágakon. Korábbi hidrobiológiai vizsgálatok szerint megnőtt az eutrofizáció veszélye, ha a víz tartózkodási ideje a mellékágrendszerben meghaladta a négy napot (#30). A szakértők a főbb mellékágakban legalább 0,3 m/s átlagos áramlási sebességet határoztak meg gyakorlati célértékként a finom hordalék lerakódásának és a meder eltömődésének – szakszóval kolmatációnak – és az eutrofizáció veszélyének mérséklésére (Pannonhalmi, 1999).

A hidrodinamikai modellezés szerint a hullámtéren a kisvízi alapállapotok biztosításához mintegy 20–50 m³/s hozam szükséges, míg a referencia-időszak középvízszintjeinek megközelítéséhez mintegy 60–150 m³/s-ot kell a rendszerbe juttatni. A tervezési folyamat az átfogó rehabilitációs célokat gyakorlati vízszint-, vízhozam- és ökológiai célértékekké alakította. E célok kijelölése után a következő feladat a megfelelő vízmennyiség biztosítása (#19), valamint egy olyan rendszer kialakítása volt, amely képes a vizet Szigetköz egész területén elosztani (#20).



22. ábra – a) Napi vízszintingadozás, valamint b) a havi legkisebb, közepes és legnagyobb vízállások Dunaremetén 1950–1959 között



23. ábra – Balról jobbra: hullámtéri mellékág, halátjáró és az Öreg-Duna



5. FEJEZET

A víz visszatér Szigetközbe



#19 Az 1995-ös magyar–szlovák megállapodás

A magyar–szlovák együttműködés teremtette meg a szabályozott vízpótlás és a közös monitoring feltételeit.

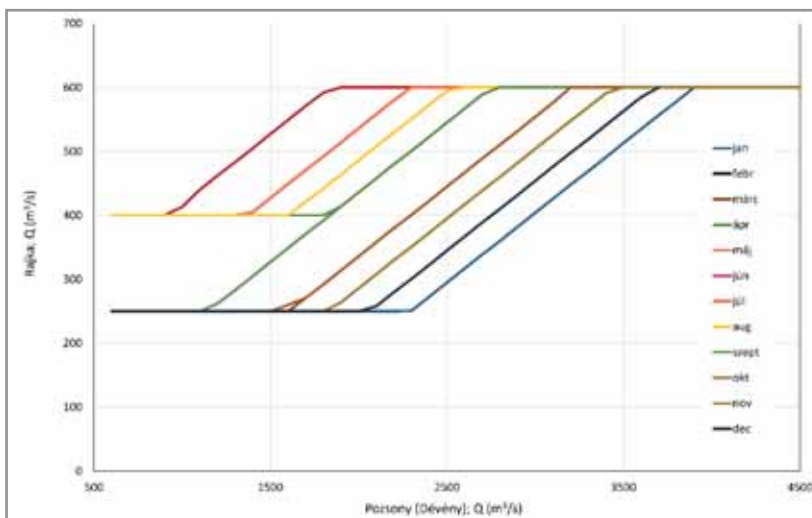
Az 1992. évi elterelés után (#10) az Öreg-Dunában maradó vízhozam nem volt elegendő sem a folyó főmedrének, sem a szigetközi hullámtér tervezett vízpótlásának fenntartásához. A hosszú távú megoldás nemcsak új vízügyi műtárgyak megépítésétől, hanem a magyar és szlovák fél megállapodásától is függött, hiszen itt dőlt el, hogy Dunacsúnynál mennyi víz kerüljön átadásra az Öreg-Dunába, illetve a Mosoni-Dunába.

A két kormány 1995 áprilisában ideiglenes megállapodást írt alá, amely évszakos vízhozamtartományokat határozott meg az Öreg-Dunára vonatkozóan. A megállapodás alapján télen 250–400 m³/s, nyáron pedig 400–600 m³/s vízhozamot kellett átadni az országhatárt alkotó folyószakaszra. Ebből a magyarországi hullámtéri ágrendszerbe legfeljebb 150 m³/s vizet lehetett kivenni.

A megállapodás a Mosoni-Duna szivárgócsatorna-rendszeren keresztül történő vízellátását is megnövelte: 43 m³/s-ra (Magyar–szlovák megállapodás, 1995).

A megállapodás egy Dunakiliti közelében létesítendő fenékküszöb megépítését is lehetővé tette (#21). Az Öreg-Duna felvízi vízszintjének megemelésével a fenékküszöb létrehozta azt a vízszintkülönbséget, amely a hullámtéri mellékágak gravitációs vízellátásához kellett. A küszöb a dunakiliti duzzasztóművel együtt lehetővé tette a vízszintek szabályozását, valamint a rendelkezésre álló vízhozam megosztását az Öreg-Duna és a hullámtéri rendszer között.

Végül, a megállapodás értelmében létrejött a közös magyar–szlovák környezeti monitoring is, amely közös mérési adatokat (#24) biztosított az új vízjárás és az arra adott környezeti válaszok értékeléséhez és a későbbi üzemeltetési döntések megalapozásához (#26). Bár az ideiglenes megállapodás nem rendezte a tágabb jogvitát, mégis létrehozta azt a keretet, amelyben a szigetközi vízpótló rendszerek kiépítése és szabályozott üzemeltetése lehetővé vált.



24. ábra – A Duna pozsonyi (dévényi) vízhozama és a Rajkánál a szigetközi szakaszra belépő vízhozam közötti kapcsolat (ÉDUVIZIG, 2001). A biológiai aktív nyári időszakban több víz állt rendelkezésre, a tényleges átadások ugyanakkor továbbra is a Duna változó pozsonyi (dévényi) vízhozamához igazodtak.

#20 A víz útja a rendszerben

A vízpótlás a vízszint emelésével indul, majd a rendszer szétosztja, visszatartja, továbbvezeti és szükség esetén elvezeti a vizet.

A szigetközi vízpótló rendszer nem egyetlen műtárgyból vagy néhány csatornából áll. Ez egy összefüggő hálózat, amely az Öreg-Dunát, a hullámtéri mellékágakat, a mentett oldali csatornarendszert és a Mosoni-Dunát kapcsolja össze, összesen mintegy 500 km hosszúságú rendszert alkotva. A víz a gravitáció és a szabályozható műtárgyak együttes segítségével mozog ebben a szövevényes hálózatban (Dunai, 1995; ÉDUVIZIG, 2000a).

Az Öreg-Dunában a dunakiliti duzzasztómű és a közelében épült fenékküszöb (#21) annyira emeli meg a vízszintet, hogy a víz gravitációsan beléphessen a hullámtéri mellékágrendszerbe.

A dunakiliti duzzasztómű, valamint bukók, zsilipek, átereszek és ágvéglezárások sora ezt követően segíti a víz szabályozható elosztását és visszatartását a hálózatban. A Mosoni-Duna Dunacsúny felől egy tápcsatornán és a dunacsúnyi tározótöltés mentett oldalán épült szivárgócsatornán keresztül kap vízpótlást (#22) az 1995-ös megállapodásban (#19) előírtak szerint.

Az árvízvédelmi töltések mögötti mentett oldali rendszer másként működik, de függ a hullámtér és a Mosoni-Duna vízpótlásától. Az egykori folyómedreket és az eredetileg főként a belvízmentesítésre szolgáló vízelvezető csatornákat vízpótlásra és vízvisszatartásra is alkalmassá tették. Ugyanaz a hálózat így két ellentétes célt szolgál egyszerre: száraz időszakban a Dunából visszatartott vizet juttatja el a tájba, túl sok víz esetén viszont elvezeti azt a szántóföldek és a települések védelme érdekében (#23). A rendszer e három része együtt teszi lehetővé, hogy a vizet a hullámtér, a mentett oldal és a Mosoni-Duna eltérő igényei szerint osszák szét.



25. ábra – A hullámtér dinamikus szabályozása (a); a hullámtér vízellátását biztosító töltőbukók (b); a fenékküszöb és a dunakiliti duzzasztómű (c)

#21 A vízpótlás kulcsa: Dunakiliti

A fenékküszöb és a dunakiliti duzzasztómű gravitációsan juttatják a vizet a hullámtéri mellékágakba, majd az ott kialakított összetett műtárgyak megtartják azt.

A dunakiliti fenékküszöb a helyi mederfenékhez képest mintegy négy méterrel megemeli az Öreg-Duna vízszintjét, ezzel megteremtve a hullámtéri mellékágak gravitációs vízellátásának feltételeit. A hagyományos vasbeton helyett főként kőből, illetve kavicssal előtöltött gabion-kosarakból épült műtárgy nagy tározó kialakítása nélkül hoz létre felvízi duzzasztást az Öreg-Dunában (Dunai, 1995).

A dunakiliti duzzasztómű a fenékküszöbvel együtt szabályozza a felvízi vízszintet, és megosztja a rendelkezésre álló vízhozamot az Öreg-Duna és a hullámtér között. A duzzasztómű zsiliptablái és hajózsilipje lehetővé teszik a vízszintek finom szabályozását (#26), amely biztosítja, hogy a hullámtéren a referenciaállapothoz (#16) hasonló vízszintek jöjjenek létre, miközben a főmederben is fennmarad az áramlás.

A víz bevezetése a mellékágakba csak a feladat egyik része. A vízpótlott ágrendszer vízszintje általában 1–3 méterrel magasabb a szomszédos Öreg-Dunáénál (#17). A kiépített ágvéglezárások és más szabályozó műtárgyak nélkül a hullámtérbe jutó víz nagy része gyorsan visszafolyna a főmederbe. E műtárgyak ellenben szabályozott átfolyást tesznek lehetővé a mellékágrendszeren úgy, hogy közben részben visszatartják, részben továbbvezetik a vizet a hullámtéri ágak labirintusában.

A főbb mellékágakban dinamikusán áramlik a víz. A hullámtér más részein kisebb, lassabb folyású mellékágak, valamint holtágak és időszakosan összekapcsolódó vízterek találhatók. Ahol a szabályozó műtárgyak akadályoznák a vízi élőlények mozgását, ott halátjárók tartják fenn a kapcsolatot a hullámtéri mellékágak és az Öreg-Duna között (#32). Hasonlóképpen a fenékküszöb hosszú, enyhe alvízi rézsúje is, miközben egyfelől energiatörő- és ezáltal medererózió-csökkentő szerepet tölt be, másrésztől durva felszíne megfelelő vízhozamnál lehetővé teszi a halak átvándorlását (Kertész, 2017; Jakus és mtsai, 2024).



26. ábra – A fenékküszöb: (a) közvetlenül az építés után és (b) 2025-ben



27. ábra – A hullámtéri víz elosztására és visszatartására szolgáló összetett vízügyi műtárgyak példái: (a) a Szent Kristóf híd és vízszintszabályozó műtárgy; (b) a denkpáli ágvéglezárás és halátjáró

#22 A Mosoni-Duna megújult vízpótlása

A Mosoni-Duna szabályozott vízellátása Dunacsúny felől egy tápcsatornán, majd a tározótöltés szivárgócsatornáján keresztül biztosított.

A Mosoni-Duna már a 20. század eleje óta szabályozottan, a Rajkai-(Triani)-zsilipen keresztül kapott vizet az Öreg-Dunából. Az Öreg-Duna medrének fokozatos mélyülése (#8) azonban csökkentek a vízszintek, és egyre kiszámíthatatlannabbá vált a gravitációs vízkivétel a Rajkai-zsilipen keresztül. Az 1980-as évek végére tartós kisvizes időszakokban a vízellátás teljesen meg is szűnhetett (Jakus és mtsai, 2024).

Az 1992. évi elterelés után a dunacsúnyi tározóból átadott vizet egy hullámtéri tápcsatornán és a mentett oldalon épült szivárgócsatorna-rendszeren keresztül vezették a Mosoni-Duna felé. Az 1995. évi megállapodás (#19) növelte a dunacsúnyi duzzasztóműnél, a Mosoni-Duna vízkivételi művön átadott vízhozamot, és lehetővé tette a víz megosztását a Mosoni-Duna, valamint a mentett oldali vízpótlás főágaként szolgáló Zátonyi-Duna (#13), illetve bizonyos esetekben a hullámtér között (Magyar–szlovák megállapodás, 1995).

Ez a szabályozott vízpótlási útvonal megbízhatóbb alaphozamot biztosított a Mosoni-Duna felső szakaszának, különösen tartós kisvízi időszakokban. Így a Mosoni-Duna kiemelt szerepet kapott a mentett oldali csatornarendszer vízpótlásában (#23).



28. ábra – (a) Rajkai-zsilip 1991-ben; (b) Mosonmagyaróvári duzzasztómű 2025-ben; (c) a Mosoni-Duna vízkivételi mű és tápcsatorna a dunacsúnyi tározónál; (d) vízáramlás a tápcsatornában, ahol a Kertész-gát jobbra, a rajkai vízkivételi zsilip felé, majd azon át – az árvízvédelmi töltést keresztezve – a Szivárgó-csatornába juttatja a Mosoni-Duna vizét

#23 Mentett oldali csatornák kettős szerepben

A mentett oldali csatornahálózat száraz időben vizet pótol és tart vissza, nedves időszakban pedig elvezeti a fölös vizet.

Az árvízvédelmi töltések mögötti „mentett oldal” már nem kap rendszeres, közvetlen ellátást a Dunából (#7). A 20. században számos egykori folyómeder összekötésével egy olyan vízelvezető hálózatot hoztak létre, amelynek elsődleges célja a belvizek Mosoni-Duna felé vezetése volt. Az 1992. évi elterelés után ez a meglévő csatornahálózat kínált lehetőséget a víz tájba való visszavezetésére (#13) (Dunai, 1995; Tatai és Pap, 2023).

Ugyanakkor egyazon hálózatnak a vízpótlási és vízelvezetési célú használata új kihívást is teremtett. A vizes élőhelyek, a halgazdálkodás, a nedves rétek vízellátása és más vízigényes táji funkciók támogatásához a vizet vissza kell tartani.

Hirtelen nagy esőzések, vagy árvizek során a töltések alatti átszivárgás és magas talajvíz előfordulása esetén viszont a szántóföldek és települések védelmében el kell vezetni a többlet vizeket. Ezen igények néha egymásnak ellentmondó elvárásokat támasztanak a rendszerrel szemben, ezért különösen fontos volt a rugalmas üzemrendet lehetővé tevő nagyszámú szabályozó műtárgy megépítése.

A rehabilitáció különböző szakaszaiban megépült műtárgyak (#32) lehetővé teszik, hogy a vízgazdálkodás iránya és célja a körülményekhez igazodjon. Szükség esetén vizet lehet vezetni a megfelelő mély fekvésű területekre, és ott vissza lehet tartani azt. Belvizes körülmények között pedig továbbra is rendelkezésre áll a vízelvezető funkció (Dunai, 1995; Tatai és Pap, 2023).

A vízpótló rendszerek fokozatos kiépítése lehetővé tette, hogy a rendszer teljesítményét folyamatosan teszteljék, mérjék és elemezzék (#24), illetve szükség esetén módosításokat hajtsanak végre (#25).



29. ábra – Vízpótlásra és vízelvezetésre egyaránt használt mentett oldali csatornarendszer főágai: Felső-Szigetközben a Zátonyi-Duna (a) és Alsó-Szigetközben a Szavai-csatorna (b)



6. FEJEZET

A próbaüzemtől az üzemrendig



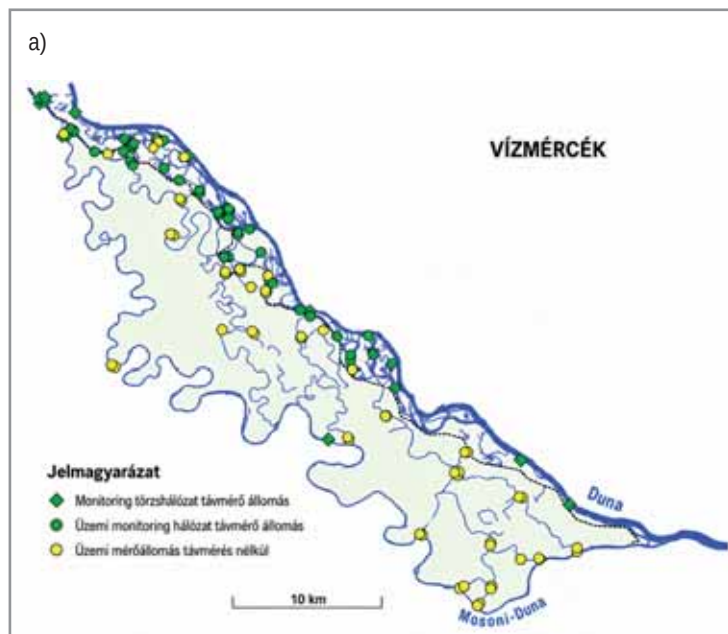
#24 A vízpótló rendszerek tanulóévei

A vízpótló rendszerek üzemeltetése, monitoringja és finomhangolása 1995 és 2000 között zajlott.

Az állandó üzemrend (#26) elfogadása előtt a vízpótló rendszer több éven át próbaüzemben működött. Ebben az időszakban a vízszintek és vízhozamok mellett a talajvizet, a talajnedvességet, a vízminőséget, az erdők állapotát, a vízi növényzetet, a halakat, a makrogerincteleneket és más biológiai mutatókat is vizsgálták. Magyarország és Szlovákia közös monitoring tevékenységet és adatcserét is folytatott, melyről a két ország évente közös jelentést készített (Magyar–szlovák megállapodás, 1995; Mucha és Lisický, 2006).

A monitoring magának a próbaüzemnek is része volt. A mérések megmutatták, hogyan reagál ténylegesen a hullámtér a különböző vízszintekre és vízhozamokra, és hol tér el ez a válasz az eredeti tervezési feltételezésektől (#18). Fontos volt a hidrológiai, kémiai és biológiai állapot együttes vizsgálata, mivel egy mellékág vízszintjei és kémiai vízminősége lehetett megfelelő úgy, hogy közben az ökológiai állapota mégis kedvezőtlen maradt (#31), például, ha az áramlás túl lassú vagy túl gyors volt, esetleg a vizek közötti kapcsolatok gyengének bizonyultak, vagy a mederfenéken finom hordalék halmozódott fel (Pannonhalmi, 2005; Ördög és Koltai, 2008).

A próbaüzem során a mérések segítségével összehasonlították a tervezett és a megfigyelt állapotokat, feltárták a helyi problémákat, és meghatározták a további beavatkozások szükséges helyét és módját. A monitoring így nem pusztán a környezeti változások dokumentálásának, hanem a vízpótló rendszer tesztelésének és az üzemeltetés adaptív megváltoztatásának nélkülözhetetlen eszköze lett (#27) (ÉDUVIZIG, 2000a; Jakus és mtsai, 2024).



30. ábra – Szigetközi felszíni vízszintmérő állomások elhelyezkedése. A vízrajzi állomások olyan mérőhelyek, ahol a folyó vagy csatorna vízszintjét rendszeresen vagy folyamatosan mérik a hosszú távú változások követésére (Szűcs, 2018) (a); az Öreg-Duna doborgási – távmérővel felszerelt – vízmerceje (b)

#25 A próbaüzem fő tapasztalatai

Az évszakos különbségek, a napi ingadozások és a műszaki tapasztalatok célzottabb, kiegyenlítettebb vízkormányzáshoz vezettek.

Az üzemeltetési tapasztalatok jelentős évszakos különbségeket tártak fel. A melegebb hónapokban nagyobb volt az elszívárgásból és a párolgásból adódó vízvesztés, ezért ugyanazon célvízszintek eléréséhez nyáron több bevezetett vízre volt szükség. Emellett, a hullámtéri ágaknál a bevezetett vízhozamok gyors, napi szintű változtatása egyes műtárgyak közelében eróziót okozott. E megfigyelések nyomán évszakként és havonta eltérő összefüggéseket állítottak fel az Öreg-Dunán érkező vízhozamok és a hullámtérbe bevezetett mennyiségekre vonatkozóan, továbbá a túl gyors ingadozások kiküszöbölése érdekében a Duna kétnapi középvízhozam értékét vették alapul az üzemeltetés során.



31. ábra – Holtág a Szigetközi mentett oldalon

A terepi mérések megmutatták, hogy a mellékágrendszer válasza térben nem volt egyenletes (#29). A medergeometria, a növényzet- és a hordalékviszonyok, valamint az elzárások, bukok és a változó mederérdesség miatt ugyanaz a bevezetett vízhozam a rendszer különböző részein eltérő vízszinteket és áramlási sebességeket eredményezett.

E különbözőségeket értelmezését és a mellékágak közötti vízeloszlás vizsgálatát hidrodinamikai modell segítette. Az elemzés szerint kisvízi állapotokhoz általában 20–50 m³/s, középvízszintekhez pedig mintegy 60–150 m³/s vízhozam kellett. A meglévő műtárgyak legfeljebb mintegy 250 m³/s üzemi vízpótlást tesznek lehetővé (#28), de még ennél a vízhozamnál is akadtak olyan mellékágak, amelyekben nem sikerült elérni a tervezett nagyvízi célértékeket (ÉDUVIZIG, 2000a).

Az egyik legfontosabb tanulság az volt, hogy nem mindig a vízmennyiség növelése a legjobb megoldás. Egyes helyeken a rendelkezésre álló víz újraelosztása, a szabályozó műtárgyak módosítása vagy a mellékágak közötti kapcsolatok javítása nagyobb hasznot hozott, mint a teljes bevezetett vízhozam növelése.

A próbaüzem alatt tehát több szempontból is változott a rendszer üzemeltetésének módja; a terepi megfigyelések és a modellezés együttes alkalmazása segítette a szükséges további beavatkozások helyének meghatározását és a vízkormányzásra vonatkozó szabályok finomítását. E tanulságok később az állandó üzemrend részévé váltak (#26), amelyben egységes rendszerbe foglalták a napi vízszétosztás szabályait az évszakos változások, az aktuális dunai vízhozamok, és a rendszer belső állapotának jellemzői függvényében (ÉDUVIZIG, 2000a).

#26 Tapasztalatokból hivatalos üzemrend

A vízpótló rendszerek vízforgó üzemeltetési engedélyei közös keretbe rendezték a tapasztalatokat, a korlátokat és az érintettek igényei alapján meghatározott prioritásokat.

Többéves próbaüzem után a szigetközi vízpótló rendszernek az érdekeltek által elfogadott, hivatalos szabályokra volt szüksége. A monitoring és a modellezés megmutatta, mire képes a rendszer (#25), a rendelkezésre álló víz azonban korlátozott maradt, a különböző használók pedig nem mindig azonos állapotokat igényeltek (#15).

Az érintetteket ismét bevonták a rendszer hosszú távú üzemeltetési rendjének meghatározásába. A természetvédelem, a mezőgazdaság, az erdőgazdálkodás, a halgazdálkodás, a helyi önkormányzatok és más érdekeltek ismét különböző igényeket fogalmaztak meg a vízszintekre, vízhozamokra és azok időzítésére vonatkozóan a vízgazdálkodók segítségével. Ezeket összevetették a rendelkezésre álló vízmennyiséggel és a próbaüzem során feltárt műszaki korlátokkal (#24).

Az egymással ütköző célok esetén kompromisszumos megoldásokat, illetve a többség által támogatott prioritásokat kellett találni.

Az így kialakított üzemrend meghatározta, hogyan kell a vizet az Öreg-Duna, a hullámtér, a mentett oldal és a Mosoni-Duna között elosztani normál, árvízi, különleges és veszélyhelyzeti körülmények között. A normál üzem a Duna pozsonyi (dévényi) vízhozamához (#19) és az évszakos viszonyokhoz igazodik; külön eljárások vonatkoznak a karbantartásra, a szabályozott elárasztásra (#28), a szennyezésekre (#30), a jégre, a műtárgyhibákra és más rendkívüli helyzetekre (ÉDUVIZIG, 2000a; Tatai és Pap, 2023).

A vízforgó üzemeltetési engedély nem csupán hivatalossá tette a vízpótló rendszerek üzemeltetését, hanem az érintettek által közösen elfogadott keretet adott a víz szétosztására, melybe beépültek a próbaüzem tapasztalatai és az érdekeltek által kötött kompromisszumok és az érdekegyeztetés folyamatának rendje (#27).



32. ábra – Az állandó üzemrend kidolgozása: a szabályok véglegesítése előtt az érintettek meghatározták igényeiket, majd összevetették azokat a rendelkezésre álló vízmennyiséggel és a rendszer műszaki korlátaival



33. ábra – a) A Mosonyi-Duna torkolati művének üzemi szabályozása; b) napi vízszintszabályozás Dunakilitinél

#27 Egy asztalnál Szigetközért

A Szigetközi Üzemelési Bizottság a rendszer működtetésének állandó részévé tette az érintettek együttműködését.

Az érintettek bevonása (#14) a vízpótló rendszer első, 1995-ben befejezett üteme után is folytatódott. A többéves próbaüzemet követően az érintettek 1999-ben ismét összeültek, hogy megvitassák a hosszú távú üzemeltetést. A vízjogi engedélyezési folyamat után 2001-ben hivatalosan is létrejött a Szigetközi Üzemelési Bizottság, amely állandó együttműködési fórumot biztosított a vízgazdálkodás, a katasztrófavédelem, a természetvédelem, az erdő- és mezőgazdálkodás, az önkormányzatok, a halászat és az idegenforgalom számára (#3) (Janák és mtsai, 2014).

A Bizottság évente legalább egyszer ülészik, hogy áttekinthesse az előző évi üzemeltetést, a monitoring eredményeit, a karbantartási igényeket és a módosítási kérelmeket. Az Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVIZIG) értékeli a javaslatokat és kidolgozza a lehetséges műszaki válaszokat, így ugyanabban a döntéshozatali folyamatban vehetők figyelembe a különböző ágazati igények (Tatai és Pap, 2023).

A meglévő engedély keretein belül maradó üzemeltetési módosítások beépíthetők az üzemeltetési előírásokba, a nagyobb változtatásokhoz viszont külön engedélyezési eljárás szükséges (#32, #33). A Bizottság folyamatos kapcsolatot teremt a monitoring, az érintettek igényei és az adaptív üzemeltetés között, így a részvétel jóval az építési munkák befejezése után is fennmarad.



34. ábra – a) A Szigetközi Üzemelési Bizottság 2025. évi ülése; b) a Szigetközi Üzemelési Bizottság létrehozásához vezető folyamat (fotó: ÉDUVIZIG).

#28 Szabályozott hullámtéri elárasztás

A folyamatos vízpótlás mellé időszakos elárasztás társul, hogy részben helyreálljon a tavaszi vízjárás dinamikája.

A rendszeres vízpótlás (#21) során átadott vízmennyiség nem tudja előidézni azt az átmeneti vízszintemelkedést, amely korábban a tavaszi árvizeket kísérte (#16). E szezonális dinamika részleges helyreállítására 2004 óta egyes években szabályozott hullámtéri elárasztást végeznek. Ehhez áprilisban vagy májusban, természetes árhullám kialakulása esetén, amikor a dunai vízhozam-előrejelzés, a víz hőmérséklet és az üzemi feltételek megfelelőek, a szlovák féllel egyeztetett módon megnövelhető az Öreg-Dunába átadott vízhozam, így a hullámtérre mintegy két héten át hozzávetőleg 200–250 m³/s víz vezethető (Kertész, 2017; Tatai és Pap, 2023).

Az átmeneti vízszintemelkedés lehetővé teszi, hogy a víz a hullámtér nagyobb részére terüljön ki, hozzáférést nyitva ívó- és ivadéknevelő élőhelyekhez, segítve a talajvíz utánpótlódását, valamint az év ökológiai szempontból fontos időszakában vízzel látja el az ártéri erdőket és vizes élőhelyeket (#31) (Tatai és Pap, 2023).

A szabályozott hullámtéri elárasztás mértéke korlátozott. Időzítését, vízhozamát, időtartamát és kiterjedését szabályozzák, az üzemeltetésnek pedig összeegyeztethetőnek kell maradnia az árvízvédelemmel és a vízügyi műtárgyak biztonságos működésével. Ahol lehetséges, az esemény végén fokozatosan csökkentik a vízhozamot, hogy a vízszint lassabban apadjon, és mérséklődjön a halak, különösen az ivadékok szárazra kerülésének veszélye.

A szabályozott elárasztás tehát az évszakos változékonyságnak azt a komponensét állítja helyre, amelyet a rendszeres vízpótlás önmagában nem képes biztosítani (ÉDUVIZIG, 2000b; Tatai és Pap, 2023).



35. ábra – Szabályozott hullámtéri elárasztás Szigetköz hullámtérén



7. FEJEZET

A vízpótlás eredményei és korlátjai



#29 A javulás látványos, de nem teljes körű

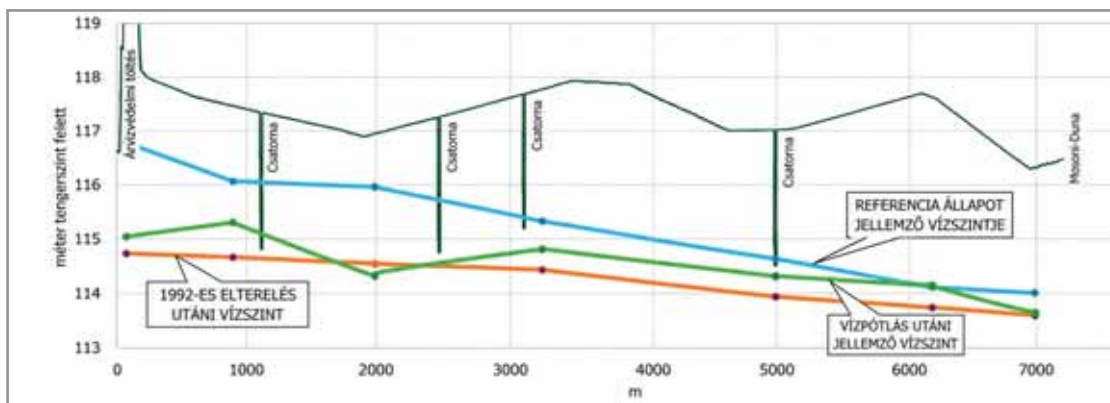
Számos meder újra megtelt vízzel, ám a korábbi természetes vízjárási jelleg csak részben állt helyre.

A felszíni vízviszonyok a hullámtér és a mentett oldal nagy részén szemmel láthatóan javultak. A korábban kiszáradt medrek (#11) újra vízzel teltek fel és számos közvetlenül táplált mellékágban, illetve állóvízben stabilizálódott a vízszint. A legnagyobb javulás általában a vízpótlást közvetlenül kapó medrek esetén következett be, a táplált hálózattól távolodva pedig gyengült a hatás (Jakus és mtsai, 2024).

A talajvíz (#12) összetettebb képet mutatott. Az Öreg-Duna tartósan alacsony vízszintje továbbra is befolyásolta a főmederhez közeli területek talajvízszintjét, különösen Felső-Szigetközben. Ugyanakkor a vízpótlott mellékágak mentén a talajvízszintek stabilizálódtak. A hosszú távú elemzések szerint Középső-Szigetköz egyes részein tavasszal és nyáron átlagosan hozzávetőleg 20–30 cm-rel emelkedtek a talajvízszintek, ezzel ellensúlyozva a talajban korábban megfigyelt vízszintsüllyedés jelentős részét (Chappon és mtsai, 2024a). A helyreállítás évszakonként is eltérő volt. Miközben a tenyészidőszak talajvízviszonyai több térségben javultak, egyes felső-szigetközi helyeken a téli talajvízszintek tovább süllyedtek. Az eredmények jelentősek, de térben és időben változó mértékű javulást mutatnak, így nem beszélhetünk az elterelés előtti állapothoz való visszatérésről (Chappon és mtsai, 2024a).



36. ábra – Felszíni víz egy hullámtéri mellékágban az elterelés előtt (1988), az elterelés után (1993), majd a vízpótlást követően (1995)



37. ábra – A talajvíz válasza a vízpótlásra Középső-Szigetközben (Chappon és mtsai, 2024a)

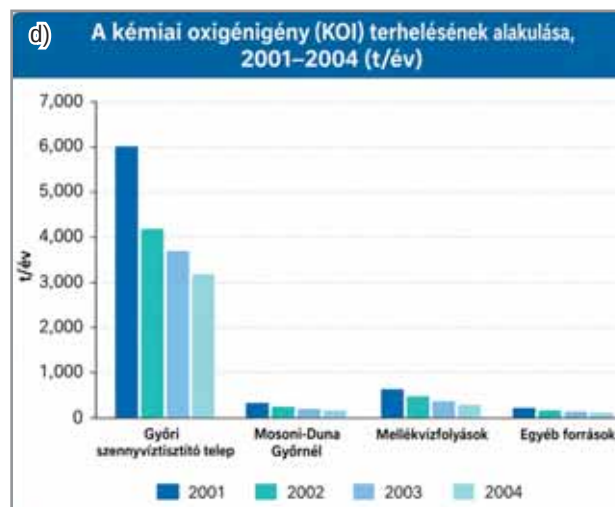
#30 Vízminőség és ökológia

A helyreállítás eredményét a bevezetett víz minősége és az áramlás jellemzői is alakítják.

A felszíni víz és a talajvíz szintjeinek helyreállítása (#29) Szigetköz nagy részén javította az állapotokat, az ökológiai válasz azonban nemcsak a vízszintektől függ. A bevezetett dunai víz minősége, a mellékágrendszeren való áthaladás sebessége és a rendszerben töltött idő egyaránt befolyásolta a vízi élőhelyek állapotát (#18). Az Alsó-Szigetközben végzett hosszú távú monitoring (#24) a korábbi évtizedek szennyezettebb állapotához képest a szervesanyag-, tápanyag- és bakteriális szennyezés több formájának jelentős csökkenését mutatta ki. Ehhez hozzájárult a felvízi folyószakaszok városi szennyvíztisztításának fejlődése – elsősorban Bécs és Pozsony térségében, valamint az ipari tevékenység változása is (Pannonhalmi és Varga, 2021; Mucha és Lisický, 2006).

A vízpótló rendszerbe belépő víz kémiai minősége tehát jobb volt, mint az 1960–1980-as években. A vízpótló rendszeren belüli állapotokat ugyanakkor a mellékvízfolyások, a helyi szennyezőforrások, az árvizek és a helyi áramlási viszonyok is alakítják. A lassú áramlás, a hosszú tartózkodási idő, a finom hordalék felhalmozódása és a nagy biológiai produkció elősegítheti az algásodást és az oldott oxigén nagymértékű napi ingadozását (Pannonhalmi, 2007; Ördög és Koltai, 2008).

A monitoring eredményei kimutatták, hogy a kedvező kémiai állapothoz nem mindig társult ugyanolyan kedvező biológiai válasz. A lassú áramlású vagy a vízpótló rendszerhez csak közvetetten kapcsolódó mellékágakban mutatkozott a legnagyobb térbeli és évszakos változékonyság, ami megerősítette, hogy az ökológiai vízminőség nemcsak a rendszerbe belépő víztől, hanem a belső folyamatoktól is függ (Pannonhalmi, 2007; Ördög és Koltai, 2008).



38. ábra – A vízrendszerben kialakuló vízminőségét befolyásoló fő tényezők, a Mosoni-Duna példáján: (a) a beérkező dunai víz és a mellékvízfolyások vízminősége; (b) a diffúz szennyezés és a haváriaesemények; (c) az árvizek és a helyi áramlási viszonyok hatása; (d) szennyvízbevezetések terhelése. E tényezők együttesen alakítják a folyó és a hozzá kapcsolódó mellékágrendszerek vízminőségét (Pannonhalmi, 2005)

#31 Újraéledő élőhelyek, megmaradó korlátok

A víz visszatéréseivel számos faj újra megjelent, a teljes ártéri vízrendszer azonban továbbra is szabályozott és helyenként nehezen- vagy egyáltalán nem átjárható.

A víz visszatérése (#21) számos vízi és vizes élőhely regenerálódását tette lehetővé. A halak visszatértek a vízpótlott mellékágakba, a kételtűek és a vízimadarak ismét táplálkozni és szaporodni kezdtek az ártéri vizes élőhelyeken. A holtágakban és a vízpótlás nélküli medrekben pedig javult a felszín alatti víztől függő ökoszisztémák helyzete. A vízpótlás által kedvezőbbé váló talajnedvesség-viszonyok az ártéri erdőket és a mentett oldali szántóföldeken folyó termelést is segítették (ÉDUVIZIG, 2004; Jakus és mtsai, 2024).

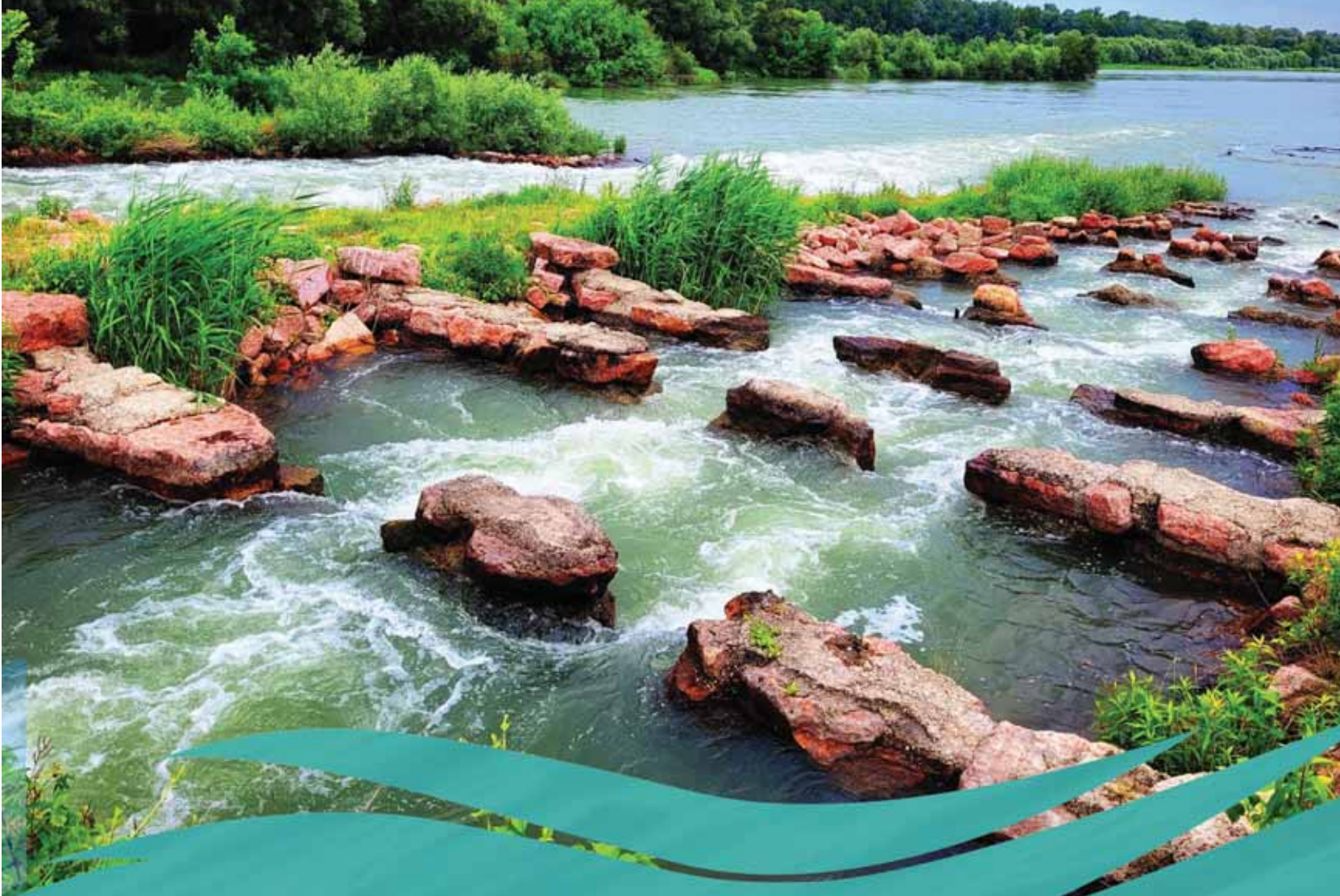
A helyreállítás azonban élőhelyenként különbözött. Az áramló medrek, a lassú folyású mellékágak, a holtágak és az időszakosan összekapcsolódó víztestek eltérően reagáltak, az ökológiai állapot pedig továbbra is erősen függött a helyi vízcserétől és az átjárhatóságtól. Egyes rosszabb vízellátottságú vagy lassabban áramló vízterek érzékenyebbek voltak az alga-sodásra és az eutrofizáció más jeleire (Pannonhalmi, 2006, 2007; Ördög és Koltai, 2008).

A korábbi hullámtéri vízjárás fontos jellemzői nem álltak teljesen helyre. A természetes árhullámok hatása elmaradt, vagy jóval gyengébben érvényesült, csökkent az évszakos vízszintingadozás mértéke, a főmeder és az ártéri élőhelyek közötti ökológiai kapcsolat pedig korlátozott maradt. Egyes, hagyományosan jellemző fajok még mindig hiányoznak, vagy elszigetelten fordulnak elő, miközben a megváltozott élőhelyeken terjednek az inváziós fajok (Guti, 2020; Jakus és mtsai, 2024).

Összefoglalva, az eredmény jelentős, de nem teljes ökológiai regeneráció: számos ártéri funkció és élőhely visszatért, a mai táj azonban továbbra is egy mesterségesen működtetett rendszer, mely nem tekinthető az elterelés előtti állapot újja-teremtésének (#2). E korlátok – különösen Alsó-Szigetközben és a Mosoni-Duna mentén – a rehabilitáció új szakaszához vezettek (#32, #33).



39. ábra – a) A Lipóti-morotva-tó a mentett oldalon és b) az Öntési-tó a hullámtéren egyaránt célzott, lassú vízcserét eredményező vízpótlást kap



8. FEJEZET

A rehabilitáció folytatása



#32 A vízpótlás kiterjesztése Alsó-Szigetközre

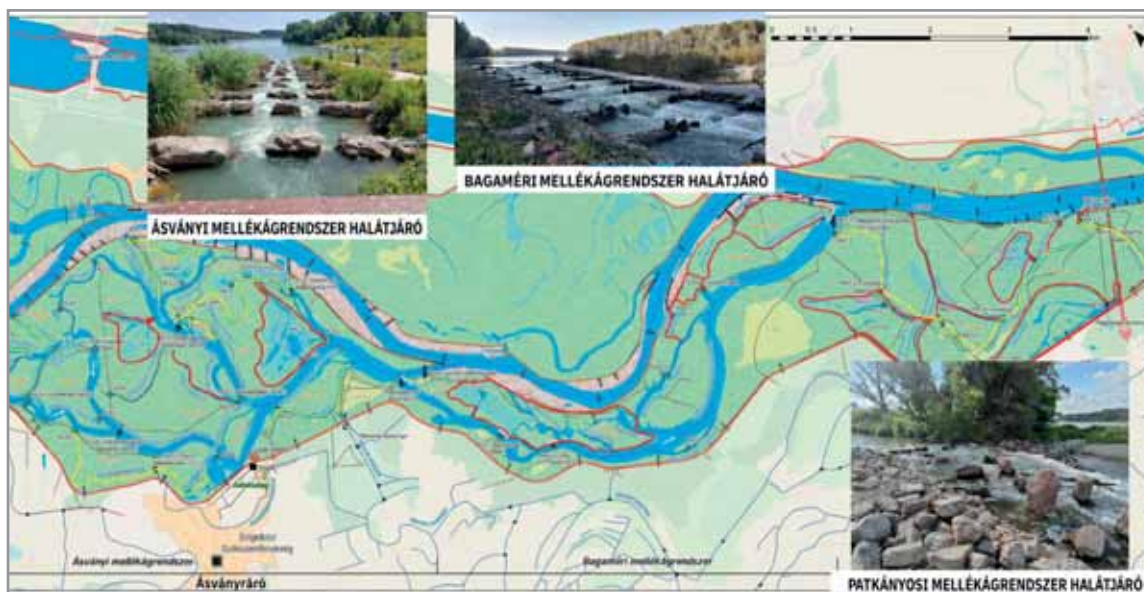
A vízpótló rendszerek továbbfejlesztése során a meglévő vízmennyiség továbbvezetése és új területek bekapcsolása volt a fő cél.

2015 előtt a rendszeres hullámtéri és mentett oldali vízpótlás az Ásványi-ágrendszer felső részén ért véget. Az Öreg-Duna kisvízszintjeinek süllyedése és a hullámtéri medrek fokozatos feliszapolódása (#8) miatt az Alsó-Szigetköz hullámtéri mellékágai egyre hosszabb időre kiszáradtak és fokozatosan beerdősültek. A vízpótló rendszer bővítését célzó projekt nem a hullámtérre vezetett vízhozam növelésére, hanem a rendszerben már rendelkezésre álló víz továbbvezetésére összpontosított (#25). Az addig az Öreg-Dunába visszafolyó vizet visszatartották, és az alsóbb mellékágak egymást követő rendszerein vezették tovább. Torkolati fenékküszöbök, kikötött tápcsatornák, átalakított zárások és halátjárók révén összefüggő vízi útvonalat hoztak létre az alsó hullámtéren (Kertész, 2017). Így a hullámtéri vízpótlás immár Dunakilitől egészen Vámosszabadi magasságáig tartott.

A mentett oldali vízpótlás kiterjesztéséhez három szivornyás vízkivétel épült. A szivornyák a hullámtérről az árvízvédelmi töltésen keresztül vezetik át a vizet a mentett oldali csatornák (#23) irányába. Mivel ezen átvezetések a nagyobb vízi élőlények számára nem biztosítanak vándorlási útvonalat, ezért az ökológiai átjárhatóságot a mentett oldali csatornák felé a Mosoni-Duna (#33) közelében lévő alvízi vízszintszabályozó műtárgyaknál kialakított halátjárókkal lehetett biztosítani (Dunai, 2006; Kertész, 2017).



40. ábra – a) Vízpótló mellékág Ásványrónál; b, c) a Béka-éri szivornya Ásványrónál, amely a (b) hullámtérről a (c) mentett oldalra vezet vizet



41. ábra – A vízpótlás kiterjesztése az alsó Ásványi-, a Bagaméri- és a Patkányosi-ágrendszerre – az ágvégeknél levő halátjárókról készült fényképekkel

#33 A Mosoni-Duna rehabilitációja

A Mosoni-Duna rehabilitációja a teljes folyót egy összefüggő ökológiai, tájképi, rekreációs és árvízvédelmi egységként kezelte.

A szigetközi folyórendszer déli ágaként (#1) a Mosoni-Duna Mosonmagyaróváron és Győron is keresztülhalad és több jobbparti mellékvízfolyást (Lajta, Rábca, Rába), valamint a bal partról a Szigetköz mentett oldali ágait és csatornáit felvéve kapcsol össze nyílt ártéri tájakat, urbánus területeket, valamint védett természetvédelmi területeket. Rehabilitációját két fő ütemben valósították meg, amelyek a Szigetköz 90-es években történt első rehabilitációs szakaszát (#22) követően felmerült, helyi problémákra reagáltak.

A 2015-ben befejezett első ütem a Mosoni-Duna Győr feletti szakaszára összpontosított. Városi folyószakaszokat, holtágakat, mellékágakat, vizes élőhelyeket, szigeteket és a Lajta folyó alsó szakaszát érintette. Átépítették a vízszintszabályozó műtárgyakat, javították a folyó és a mellékágak kapcsolatát, az új halátjárók és csónakátemelők pedig a hosszirányú átjárhatóságot és a rekreációs használatot segítették.

A második ütem a Győr alatti szakaszt kezelte, ahol a tartósan alacsony vízszintek meggyengítették a kapcsolatot a Mosoni-Duna, a Rába és a kapcsolódó mellékágak, illetve a városi vízpartok között. E projekt keretében készült el a Mosoni-Duna torkolati műtárgya, amelynek fő célja a felvízi felszíni és talajvízszintek megemelése és szabályozása volt, az árvízvédelmi és hajózási célok támogatása mellett.

A két ütem együttesen a Mosoni-Duna tágabb környezetére hatással volt és kiterjesztette a szigetközi rehabilitációt a vízterekre is. A folyó felső és alsó folyásán végzett munkák eltérő helyi körülményekre reagáltak, mégis ugyanazokat az átfogó célokat követték: kedvezőbb vízszinteket, jobb ökológiai átjárhatóságot, árvízvédelmet, hajózást, valamint a folyó és a környező települések közötti kapcsolat erősítését (Dunai, 2024).

A szigetközi rehabilitáció e későbbi projektjei megmutatták, hogy az 1990-es években kiépített vízpótló rendszer nem egyetlen befejezett beavatkozás, hanem egy folyamatosan fejlődő térségi folyamat része, amely az új problémák és lehetőségek megjelenésével tovább folytatódik (#34).



42. ábra – A Mosoni-Duna rehabilitációja: a) Zámolyi-csatorna kapcsolata a Mosoni-Dunával Győr felett; b) Győri vízpartok; c) Kishajóval Győr alatt; d) a Mosoni-Duna torkolati mű

#34 Egy folyamat, amelynek nincs vége

A vízpótló rendszer sokat javított az ártéri táj állapotán, de üzemeltetése, finomhangolása és bővítése ma is folytatódik.

A szigetközi rehabilitáció eredményeképpen a víz számos olyan mellékágba visszatért, amely az 1992. évi elterelés után kiszáradt (#11). A szabályozott vízkormányzás, a halátjárók és a vízpótló rendszer későbbi kiterjesztése javították a vízrendszer összeköttetését és ökológiai kapcsolatait, miközben a beavatkozások fenntartották az árvízvédelmet, és támogatták a településeket, a különböző tájhasználatokat, a természetvédelmet, valamint a rekreációt és más emberi tevékenységeket (#3).

A hullámtér ugyanakkor nem tért vissza korábbi természetes állapotába (#6). Az Öreg-Duna továbbra is korábbi vízhozamának csupán töredékét kapja, vízszintje pedig alacsony maradt. A főmeder szabadra került kavicszátonyain erdők nőttek fel, így az árvízi biztonság csökkent. A hullámtéren az évszakos ingadozás kisebb a korábbinál, a nagyléptékű szabályozás pedig továbbra is hat a talajvízviszonyokra.

Egyes ökológiai kapcsolatok és ártéri folyamatok csak részben álltak helyre, a vízpótlás előnyei pedig nem egyenletesen érvényesülnek a tájban (#29) (Chappon és mtsai, 2024a; Gut, 2020).

Eközben több mint három évtized munkája (#5) adaptív gazdálkodási rendszerré alakította a szükségintézkedéseket. A kezdeti vészbeavatkozásokat hosszas egyeztetések, tervezés, építkezés, próbaüzem, monitoring, műszaki módosítások és finomhangolás, végül hivatalos üzemrend és a Szigetközi Üzemelési Bizottság létrehozása követte (#27). E munka eredményeként a Szigetközben egy olyan vízpótló rendszer jött létre, amely az ártér fontos ökológiai funkcióit és az emberi használatot egyaránt támogatja. A későbbiekben a rehabilitáció Alsó-Szigetközre (#32) és a Mosoni-Dunára (#33) is kiterjedt, valamint bővült a hullámtér (#28) és a mentett oldal szabályozott elárasztásával.

Szigetköz történetére ezért nem érdemes úgy tekinteni, mint egy befejezett rehabilitációs projektre, hanem sokkal inkább úgy, mint a Duna és az ember, az ökoszisztéma és az épített infrastruktúra, valamint az üzemeltetésért felelős intézmények és közösségek közötti folyamatos kapcsolatra.



43. ábra – Rehabilitáció Szigetközben: a) mentett oldal; b) halátjáró a hullámtér és az Öreg-Duna között Ásványrárónál

Mik Szigetköz tanulságai más folyóvízi rehabilitációs projektek számára?

Szigetköz nem kínál kész receptet, de megmutatja, hogyan lehet szorult helyzetben számottevő javulást elérni.

A szigetközi rehabilitáció legfontosabb tanulsága nem az, hogy bemutatja, hogyan lehet visszaállítani az ártér háborítatlan állapotát. Sokkal inkább az, hogy végigvezet azon a folyamaton, mely során egy alkalmazkodóképes rendszer jött létre, amely visszavezeti a vizet egy emberi beavatkozások által erősen átalakított tájba, és támogatja a fontos ökológiai funkciókat, miközben fenntartja az árvízi biztonságot és a sokféle társadalmi használatot (Dunai, 1995; ÉDUVIZIG, 2000a; Tatai és Pap, 2023).



44. ábra – Szigetközi ártéri táj

Bizonyos adottságok csak Szigetközre jellemzőek: az országhatáron átnyúló szárazföldi delta jelleg, az alatta fekvő létfontosságú kavicsos víztartó réteg, ráadásul mindez Európa egyik legfontosabb belvízi hajózási útvonalán, kiemelkedő árvízi kockázatok mellett. E feltételek egyedivé teszik a térséget, ezért a megépült létesítmények nem másolhatók le egy az egyben (Bárdossy és Molnár, 2004; Jakus és mtsai, 2024).

Ami átadható, az a módszer: a problémák történeti okainak feltárása, a konfliktusok felismerése, az érintett csoportok bevonása, az ökológiai célok tervezési követelményekké alakítása, az ütemezett megvalósítás, az adaptív üzemeltetés, az eredmények nyomon követése, valamint a hosszú távú fenntarthatóság értékelése. A műszaki tanulságok közé tartozik a gravitációs vízelosztás alkalmazása, a dinamikusan változó vízpótlás, illetve a halátjárók tervezési elvei. Az intézményi tanulságok közé pedig a konfliktuskezelés és egy állandó üzemelési bizottság működtetése tartozik (Dunai, 1995; Pannonhalmi, 1999; Janák és mtsai, 2014; Tatai és Pap, 2023).

A DALIA projekt keretében ezeket a tanulságokat a portugáliai LIFE4LAMPREY, a bosznia-hercegovinai WATER-GUIDE és az izraeli SMARR projektek adaptálják a saját területükre és kihívásaikra. A cél nem a szigetközi műtárgyak lemásolása, hanem a monitoringnak, az érintettek részvételének, a döntéshozatali mechanizmusnak és a természetalapú tervezés elveinek helyi körülményekhez igazítása.

A folyóvízi és ártéri rehabilitáció nem csupán a folyók helyreállításáról szól, hanem ugyanannyira az emberek és a folyók közötti kapcsolatok újjáépítéséről is (Water Resources Research Group, 2025).

Szakirodalmi hivatkozások

Bárdossy, A., and Molnár, Z. (2004). Statistical and geostatistical investigations into the effects of the Gabčíkovo hydropower plant on groundwater resources in northwest Hungary. *Hydrological Sciences Journal*, 49(4).

Chappon, M., Madarász, K., and Bene, K. (2024a). Assessing the long-term groundwater-level dynamics in Szigetköz, Hungary. *Chemical Engineering Transactions*, 114, 859–864.

Chappon, M., Kálmán, A., Bene, K., and Ray, R. (2024b). Prioritizing water-related regional development project ideas based on stakeholder involvement: A Szigetköz case study. *Environmental Challenges*, 16, 100994.

Dunai, F. (1995). Szigetköz mentett oldali vízpótlása [Technical description]. ÉDUVIZIG.

Dunai, F. (2006). Alsó-Szigetköz TJB [PowerPoint presentation]. Hullámvonal Mérnökszolgálati Kft.

Dunai, F. (2024). Vízfolyások nagytérégi rehabilitációja a Szigetköz és a Mosoni-Duna példáján [PowerPoint presentation]. Budapest.

ÉDUVIZIG. (2000a). Műszaki leírás 4: Szigetköz üzemelési szabályzat. Győr.

ÉDUVIZIG. (2000b). Üzem1: Szigetköz Water Replenishment System Operation Regulation. Győr.

ÉDUVIZIG. (2001). A szigetközi nyílt vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés, mint az érdekegyeztetés, a konfliktusfeloldás eszköze [PowerPoint presentation].

ÉDUVIZIG. (2004). A Szigetköz rehabilitációs koncepciója: Ökológiai, hidrológiai, folyamgazdálkodási átfogó tanulmány a Duna Rajka–Szob közötti szakaszára.

Fertő–Hanság Nemzeti Park Igazgatóság. (é. n.). Szigetközi Tájvédelmi Körzet.

Hungarian People's Republic and Czechoslovak Socialist Republic. (1977). Treaty concerning the construction and operation of the Gabčíkovo–Nagymaros system of locks. *United Nations Treaty Series*, 1109(17134), 235–249.

Guti, G. (2020). Assessment of long-term changes in the Szigetköz floodplain of the Danube River. In *Human Impact on Danube Watershed Biodiversity in the XXI Century*. Springer.

International Court of Justice. (1997). Gabčíkovo–Nagymaros Project (Hungary/Slovakia), Judgment of September 25, 1997. *I.C.J. Reports* 1997.

Janák, E., Dunai, F., and Sütheő, L. (2014). A szigetközi nyílt vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés, mint az érdekegyeztetés, a konfliktusfeloldás eszköze [PowerPoint presentation].

Jakus, Gy., Kertész, J., Mohácsiné, S. G., and Pannonhalmi, M. (2024). Az újjászülető Szigetköz. *Hidrológiai Közöny*, 104(1).

Kertész, J. (2017). A vizesélőhely-rehabilitáció 25 éve a Szigetközben. ÉDUVIZIG.

KvVM. (1996). A Duna elterelésének hatásai a Szigetközben: Monitoringjelentés. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium.

Magyar–szlovák megállapodás (1995): Agreement between the Government of the Slovak Republic and the Government of Hungary about Certain Temporary Measures and Discharges to the Danube and the Mosoni-Danube. (1995). Signed April 19, 1995.

Mucha, I., and Lisický, M. J. (Eds.). (2006). Slovak-Hungarian Environmental Monitoring on the Danube: Results of the Environmental Monitoring Based on the 1995 Agreement, 1995–2005. Slovak Section. Ground Water Consulting Ltd., Bratislava.

Ördög, V., and Koltai, G. (2008). Evaluation of the biological and water-chemical elements of the Szigetköz Monitoring System in 2007. University of West Hungary.

Pannonhalmi, M. (1999). A Szigetközi hullámtéri vízpótló rendszer osztályozásának és rehabilitációjának ökológiai alapjai. ÉDUVIZIG.

Pannonhalmi, M. (2005). ECONTACT project: Investigation of the hydro-ecological functioning of running-water habitats. North-Transdanubian Environmental and Water Directorate. ÉDUKÖVIZIG.

Pannonhalmi, M. (2006). Szigetköz Water Replenishment System: Water-chemical and hydrobiological monitoring—Summary. ÉDUKÖVIZIG.

Pannonhalmi, M. (2007). Szigetköz Inundation-Area Water Compensation System: WFD monitoring—Summary. ÉDUKÖVIZIG.

Pannonhalmi, M., and Varga, P. (2021). A vízminőség-vizsgálatok 50 éve Magyarországon a Duna példáján. Vízügyi Közlemények, 2021(1).

Rákóczi, L. (1989). Vízlépcsők hatása a hordalék- és mederviszonyokra. Vízügyi Közlemények, 71(1).

SAVE International. (2015). Value methodology standard (2015 ed.).

SEA. (2010). Feasibility study: The rehabilitation of the Szigetköz reach of the Danube. Established by the Governmental Delegations of the Gabčíkovo–Nagymaros Project.

Szűcs, A. (2018). A magyar–szlovák közös szigetközi környezeti monitoring és adatcsere: MÁFI Szigetközi Földtani Monitoring hosszú távú értékelése az 1994–2009 közötti tevékenység eredményei alapján. <https://szmp.hu/szigetkozimonitoring>

Tatai, R., and Pap, E. (2023). Szigetköz mentett oldali vízpótló rendszer üzemelési szabályzatának felülvizsgálata, üzemelési tapasztalatai és fejlesztési lehetőségei. MHT XL. Vándorgyűlés Győr 2023.

Water Resources Research Group. (2025). DPS-1 Szigetköz, Hungary [Presentation for the EcoAdvance online meeting, May 29, 2025]. DALIA project.

Képek és ábrák forrásjegyzéke

Ábra	Cím	A fénykép/ábra forrása
1	DALIA-találkozó Szigetközben, 2023 őszén	Fotó: a DALIA projekt archívuma
2	Rehabilitáció utáni hullámtéri mellékág	Fotó: Chappon Máté
3	Szigetköz elhelyezkedése a Duna mentén és a Rajna–Majna–Duna víziúton	Ábra: Madarász Klaudia
4	Hullámtér Ásványráronál 1965-ben és 1993-ban	fcntl.hu
5	Szigetköz növény- és állatvilága: nedves rét; nádas és erdős hullámtéri mellékág; róka az ártéri növényzetben; nagy kócsag a hullámtéri mellékágrendszerben	Fotók: (a, b) Kertész József, (c) Richard P. Ray, (d) Ámon Gergely
6	Szigetköz áttekintő térképe	Ábra: Madarász Klaudia (ESRI-alaptérkép; a projekt térinformatikai adatai QGIS-ben feldolgozva)
7	Példák a területhasználatra és a vízhez kapcsolódó rekreációra Szigetközben	Fotók: Chappon Máté
8	A Szigetköz hullámtérét érintő legjelentősebb emberi beavatkozások idővonala, 1700–2023	Chappon és mtsai (2024b)
9	A Szigetköz térségében rendszeresen elöntött területek kiterjedése a nagy léptékű folyószabályozás előtt	SEA (2010), a Duna Múzeum gyűjteményének anyaga alapján
10	Dunai árvíz Szigetközben, 2024 szeptemberében	Fotó: Chappon Máté
11	Vízszint- és medermorfológiai változások 1959 után	Ábra: Madarász Klaudia
12	Az Öreg-Duna Szigetközben kisvízi körülmények között	Fotó: Chappon Máté
13	A Bős–Nagymarosi Vízlépcsőrendszer tervezési elképzelései és tervei	ÉDUVIZIG-archívum
14	A C variáns és fő létesítményeinek elrendezése	Richard Ray; Kertész József https://xpatloop.com/channels/2025/07/decades-long-danube-dispute-will-a-dam-be-built-at-nagymaros-in-hungary.html
15	A Duna elterelésének hidrológiai hatása Szigetközben 1992 és 1993 között	Ábra: Madarász Klaudia (ESRI-alaptérkép; a projekt térinformatikai adatai QGIS-ben feldolgozva) Fotók: Kertész József, ÉDUVIZIG-archívum
16	Kiszáradt hullámtéri mellékágak a Duna elterelését követően	Fotók: Fertő–Hanság Nemzeti Park Igazgatóság
17	A Zátonyi-Duna Doborgasszigetnél 1992 novemberében és a víz 1993. májusi visszatérése után	Fotók: Kertész József

Ábra	Cím	A fénykép/ábra forrása
18	Érintetti egyeztetés a rehabilitációs rendszer tervezése során	ÉDUVIZIG-archívum
19	A mentett oldali rendszer funkciófája	Dunai (1995) alapján, MI segítségével készült ábra
20	Hosszú távú vízállás Dunaremetén és a Duna vízhozama Pozsonynál (Dévény)	Ábra: Madarász Klaudia
21	A Duna pozsonyi (dévényi) vízhozama és a dunaremetei vízállás közötti kapcsolat az 1950–1959-es és az 1989–1992-es időszakban	Ábra: Bene Katalin, Fotó: Chappon Máté
22	Napi vízszintingadozás, valamint a havi legkisebb, közepes és legnagyobb vízállások Dunaremetén 1950–1959 között	Ábra: Bene Katalin Adatforrás: ÉDUVIZIG
23	Hullámtéri mellékág, halátjáró és az Öreg-Duna	Fotó: Chappon Máté
24	A Duna pozsonyi (dévényi) vízhozama és a Rajkánál a szigetközi szakaszra belépő vízhozam közötti kapcsolat	Ábra: Madarász Klaudia, Bene Katalin Adatforrás: ÉDUVIZIG
25	A hullámtér dinamikus szabályozása	Ábra: Madarász Klaudia, Műholdkép: maps.google.com Fotó: ÉDUVIZIG-archívum
26	A dunakiliti fenékküszöb közvetlenül az építés után és 2025-ben	(a) ÉDUVIZIG-archívum, (b) Ámon Gergely
27	A hullámtéri víz elosztására és visszatartására szolgáló vízügyi műtárgyak példái: Szent Kristóf híd és vízszintszabályozó műtárgy; denkpáli ágvéglezárás és halátjáró	Fotók: ÉDUVIZIG-archívum
28	A Mosoni-Duna vízellátását szolgáló műtárgyak: Rajkai zsilip, Mosonmagyaróvári duzzasztómű, dunacsúnyi tápcsatorna és szivárgócsatorna-rendszer	Fotók: (a, c) ÉDUVIZIG-archívum; (b, d) Ámon Gergely
29	Vízpótlásra és vízelvezetésre egyaránt használt mentett oldali csatornák Felső- és Alsó-Szigetközben	Fotók: Chappon Máté
30	Szigetközi felszíni vízrajzi állomások és az Öreg-Duna doborgazi vízmércéjének elhelyezkedése	(a) Szűcs, 2018; (b) Chappon Máté
31	Holtág a mentett oldalon	Fotó: Kertész József
32	Az állandó üzemrend kidolgozása	Ábra: Bene Katalin
33	Üzemi vízszintszabályozás: a Mosoni-Duna torkolati mű és Dunakiliti	Fotó: Chappon Máté
34	(a) A Szigetközi Üzemelési Bizottság 2025. évi ülése; (b) a Szigetközi Üzemelési Bizottság létrehozásához vezető folyamat	Fotó: ÉDUVIZIG MI által készített folyamatábra; adatforrás: ÉDUVIZIG
35	Szabályozott hullámtéri elárasztás Szigetköz hullámterén	Fotó: Kertész József
36	Felszíni víz egy hullámtéri mellékágban az elterelés előtt (1988), az elterelés után (1993), majd a vízpótlást követően (1995)	Dunai (2024)

Ábra	Cím	A fénykép/ábra forrása
37	A talajvíz válasza a vízpótlásra Szigetköz egész területén	Chappon és mtsai. (2024a)
38	A Mosoni-Duna vízminőségét befolyásoló fő tényezők	Pannonhalmi (2005)
39	A Lipóti-morotva-tó a mentett oldalon és az Öntési-tó a hullámtéren	Fotók: Kertész József
40	Vízpótolt mellékág és a Béka-éri szivornya Ásványrárónál	Fotók: Chappon Máté
41	A vízpótlás kiterjesztése az alsó Ásványi-, Bagaméri- és Patkányosi-ágrendszerre, halátjárókkal	Fotók: Chappon Máté, Ámon Gergely Alaptérkép: ÉDUVIZIG
42	A Mosoni-Duna rehabilitációja	Fotók: Chappon Máté
43	Rehabilitáció Szigetközben: mentett oldal és halátjárók a hullámtér, valamint az Öreg-Duna között Ásványrárónál	Fotók: Chappon Máté
44	Szigetköz mai ártéri tája	Fotó: Kertész József

