



BME VÍZÉPÍTÉSI ÉS VÍZGAZDÁLKODÁSI TANSZÉK

A Dráva folyó 0+000-236+000 fkm közötti szakaszán jelentkező medersüllyedés megállítási lehetőségeinek elemzése

LIFE17NAT/HU/000577, „Bölcs vízgazdálkodás a Dráva mentén az ártéri erdők megőrzése érdekében” (Wise water management for the conservation of alluvial forest habitats along River Drava) projekt keretében



2020. november

A Dráva folyó 0+000-236+000 fkm közötti szakaszán jelentkező medersüllyedés megállítási lehetőségeinek elemzése

Készítették:

Dr. Baranya Sándor, egyetemi docens

Kéri Barbara, okleveles építőmérnök

Ermilov Alexander Anatol, okleveles építőmérnök

Fleit Gábor, okleveles építőmérnök

Megbízó: Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

Budapest, 2020. november

Tartalom

1	Vezetői összefoglaló.....	5
2	A feladat ismertetése.....	7
3	Folyók hordalékgazdálkodásához kapcsolódó nemzetközi kezdeményezések	8
3.1	A DanubeSediment projekt ajánlásai folyók helyreállítására.....	9
3.2	A Nemzetközi Duna Védelmi Bizottság (ICPDR) ajánlásai	12
3.2.1	A belvízi hajózás fejlesztése és a környezet védelme a Duna vízgyűjtőjén - Közös Nyilatkozat az Útmutató Elvekről (ICPDR, 2007):.....	12
3.2.2	ICPDR Sustainable Hydropower Development in the Danube Basin – Guiding Principles (ICPDR, 2013).....	13
3.3	Dráva alsó szakaszának víziút fejlesztése	14
4	A meder süllyedésének lassítását célzó megoldások.....	15
4.1	Innovatív folyószabályozási művek (helyi beavatkozás típusok)	15
4.1.1	Meglévő sarkantyúk átalakítása	15
4.1.2	Chevron-gátak	16
4.1.3	Fenékbordák	17
4.1.4	Innovatív hosszirányú művek.....	18
4.2	Folyószakasz léptékű medersüllyedést mérséklő beavatkozás típusok	20
4.2.1	A folyó számára rendelkezésre álló (morfológiai) tér növelése	20
4.2.2	A folyó kiszélesítése.....	21
4.2.3	Holtágak visszacsatolása (folyó hosszának növelése az esés csökkentésének érdekében) 22	
4.2.4	Mellékágak visszacsatolása.....	23
4.2.5	Árvízvédelmi gátak megnyitása, vagy elbontása	26
4.2.6	Árvízvédelmi gátak áthelyezése és visszabontása (hullámtér növelése).....	27
4.2.7	Korábbi lápok, mocsarak, vizenyős területek visszaállítása.....	28
4.2.8	Meder beborítása durva összetételű mederanyaggal (közvetlen beavatkozás a meder szemösszetételébe).....	29
4.2.9	Kialakult mederpáncél megbontása.....	31
4.2.10	„Okos” kotrás és hordalék-visszatáplálás.....	32
5	Beavatkozási lehetőségek a Dráva mentén	34
5.1	Vízlépcsők csúcsra járatásának hatásai és azok mérséklésének lehetőségei	34
5.1.1	Bevezető	35
5.1.2	Vízhozam fluktuációk detektálása és jellemzése.....	35
5.1.3	Csúcsra járatás hatása a vízi élővilágra	36
5.1.4	Hatások tudományos alapú mérséklése	38
5.1.5	Összefoglalás és kitekintés	39
5.2	Felső szakasz (Mura-torkolat 236,0 fkm – Barcs 154,10 fkm) beavatkozási lehetőségei.....	40

5.2.1	Mura-torkolat 236,0 fkm	40
5.2.2	Botovo-Víztár (227,21-187,59 fkm) szakasz.....	42
5.2.3	Heresznye – Bolhó szakasz (188,0 – 184,0 fkm)	46
5.2.4	Križnicai (babócsai) meander-rendszer (173,0 – 166,0 fkm)	48
5.3	Középső szakasz (Barcs 154,10 fkm – Drávaszabolcs 77,7 fkm) beavatkozási lehetőségei. 48	
5.3.1	Drávatamási mellékágrendszer (147,8 – 144,3 fkm).....	49
5.3.2	Felsőszentmárton és Révfalu közti mellékágrendszer (128,4 - 119,3 fkm).....	50
5.3.3	Martinci Miholjački környéke (112 – 96 fkm)	51
5.3.4	Donji Miholjactól északra fekvő holtágak (85,7 – 79,7 fkm).....	52
5.4	Alsó szakasz (Drávaszabolcs 77,7 fkm - Duna torkolat 0,0 fkm) beavatkozási lehetőségei. 53	
5.4.1	Drávaszabolcs és Keselyősfapuszta közti szakasz 75,0 – 72,0 fkm	55
5.4.2	Belišće környéki holt- és mellékágrendszer (56,3 - 48,5 fkm).....	55
5.4.3	A5 autópálya híd és környéke (31,5 – 29,0 fkm)	57
5.4.4	Torkolati szakasz (14,0 – 0,0 fkm).....	58
6	Beavatkozások hatásvizsgálata számítógépes modellezéssel	60
6.1	Módszerek, esettanulmány	60
6.2	Alkalmazott modell	64
6.3	Modellépítés	65
6.4	Modellparaméterezés.....	66
6.5	Modellfuttatások.....	66
7	Általános javaslatok.....	73
7.1	Vízgyűjtő szintű hordalékgazdálkodás.....	73
7.2	Jogszabályi háttér	73
7.3	Hordalékfolytonosság megőrzése, javítása.....	73
7.4	Érdekelt területek bevonása.....	74
7.5	Összehangolt hordalékmonitoring hálózat	74
7.5.1	Medermorfológiai mérések	74
7.5.2	Lebegtetett hordalékmérések.....	75
7.5.3	Görgetett hordalékmérések.....	78
7.6	Élőhely-hidraulikai vizsgálatok.....	80
8	Hivatkozások	82

1 Vezetői összefoglaló

Jelen tanulmányt a Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság megbízásából a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéke készítette a LIFE17NAT/HU/000577, „Bölcs vízgazdálkodás a Dráva mentén az ártéri erdők megőrzése érdekében” (Wise water management for the conservation of alluvial forest habitats along River Drava) projekt keretében. A tanulmány szorosan kapcsolódik egy megelőző szakmai anyaghoz, amelyben feltártuk a Dráva múltban bekövetkezett morfológiai változásait, kitérve a kiváltó hatásokra (mint árvízvédelmi célú folyószabályozási beavatkozások, ipari kotrások, horvátországi vízlépcsők és tektonikai hatások) és azok hozzájárulását a mélyülési folyamatokhoz (BME, 2020). Abban az anyagban kimutattuk, hogy a Dráva morfológiájában, a magyar-horvát közös szakasztól egészen a Duna-torkolatig jelentős változások mentek végbe, de a kisvízszint statisztikák alapján a függőleges mederváltozások mára jelentősen mérséklődtek, és a folyómederben mindinkább a helyszínrajzi, keresztirányú változások jelentkeznek. A meder ezen a szakaszon, annak teljes hosszában jelentősen berágódott, ami sokszor kedvezőtlen hidromorfológiai állapotot eredményezett, ezért felmerül az igény folyórestaurációs beavatkozásokra, amelyek a hordalékvándorlást és ezen keresztül a medermorfológiai viszonyokat kedvezőbb irányba mozdítja el.

Ezt szem előtt tartva ebben a tanulmányban megvizsgáltuk, hogy a közelmúltban végrehajtott olyan nemzetközi együttműködésben megvalósult projektek, amelyek kimondottan a Duna-vízgyűjtőre készültek és a hordalékvándorlás javításával foglalkoztak, milyen javaslatokat fogalmaztak meg. Ezeket az ajánlásokat részletesen feltártuk, továbbá számba vettünk más külföldi és hazai jó gyakorlatokat, melyek elsősorban a hordalékhiányos folyószakaszok – mint a Dráva – állapotának javítását célozták meg. Kitértünk olyan helyi léptékű beavatkozási módszerekre, amelyek a meder stabilizálásán túl kedvező ökológiai hatásokat is eredményeznek, pl. meglévő keresztirányú folyószabályozási művek partközeli részeinek átvágásával teszik intenzívebbé a part közeli áramlásokat és ezzel javítják a halak élőhely állapotát. Ismertettünk nagyszámú folyószakasz léptékű beavatkozás típusát, melyek egy része a meder szélesítésével csökkenti a hordalékszállító képességet és mérsékli ezzel az eróziós hatásokat, de fontosnak tartjuk a mellékágak revitalizációjának a kérdéskörét is vizsgálni, továbbá különböző a mederfelszín megbontását vagy éppen durvább szemösszetételű anyaggal való beborítását is bemutattuk. Minden beavatkozás típus esetén hivatkoztunk korábbi vagy folyamatban lévő hazai vagy külföldi példára. Külön pontban foglalkozunk a vízlépcsők csúcsrajáratásának problémakörével, hiszen a vizsgált Dráva szakasz felvízi részén a horvát vízlépcsők miatt ez a hatás különösen érvényesül.

A Dráva tanulmányozott szakaszát három részre osztottuk fel: i) Mura-torkolattól-Barcsig, ii) Barcstól-Drávaszabolcsig és iii) Drávaszabolcstól a Duna-torkolatig. Ezekkel a részzszakaszokkal külön-külön foglalkoztunk és olyan javaslatokat fogalmaztunk meg, amelyek megőrzik vagy javítják a folyómeder jelenlegi hidromorfológiai állapotát. A javaslatainkban rövidebb szakaszokra konkrét beavatkozás típusokat adtunk meg, de részletes hatásvizsgálatot ezekre nem hajtottunk végre, mert az a tanulmánynak nem volt tárgya. Rendkívül fontosnak tartjuk azonban felhívni a figyelmet arra, hogy korszerű helyszíni adatgyűjtéssel és modern modellezési eljárásokkal jól megalapozható folyórestaurációs beavatkozások tervezési és kivitelezési feladatai, ezért egy esettanulmányon keresztül bemutattuk egy 3D számítógépes modell alkalmazását egy mellékág helyreállítási feladatra a folyó heresznyei szakaszára. A

modellvizsgálatokon túl a jelentést kiegészítettük egy Javaslattétel fejezettel, amiben általánosabb jellegű ajánlásokat tettünk a Dráva hordalékgazdálkodásának kialakítására.



.....
Dr. Baranya Sándor, témavezető

Budapest, 2020. szeptember

2 A feladat ismertetése

Az alábbi elemzést a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéke készítette a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság megbízásából (DDVÍZIG). A tanulmány a LIFE17NAT/HU/000577 számú, „Bölcs vízgazdálkodás a Dráva mentén az ártéri erdők megőrzése érdekében” (Wise water management for the conservation of alluvial forest habitats along River Drava) elnevezésű projekthez kapcsolódik, tárgya a „A Dráva folyó 0+000-236+000 fkm közötti szakaszán jelentkező medersüllyedés megállítási lehetőségeinek elemzése”.

A BME és DDVÍZIG között megkötött szerződés az alábbi feladatkírást tartalmazta:

1. Hazai és nemzetközi szakirodalom alapján a meder süllyedésének lassítását célzó megoldások, beavatkozás-típusok összegyűjtése azok előnyeivel és hátrányaival
 - a. Hagyományos, jelenleg alkalmazott folyószabályozási módszerek
 - b. Újszerű, innovatív folyószabályozási lehetőségek
2. Nemzetközileg bevált jó gyakorlatok áttekintése
3. Javaslattétel a Dráva folyón alkalmazható optimális állapot kialakítására
 - a. Korábbi munkák áttekintése
 - b. A 2. pontban tárgyalt jó gyakorlatok szakaszjelleg alapján való csoportosítása, figyelembe véve a Dráva vizsgált szakaszainak karakterisztikáit
 - c. A 2. pontban tárgyalt jó gyakorlatok alapján javaslattétel megoldások kidolgozása
4. Modellvizsgálatok
5. Angol nyelvű összefoglaló

3 Folyók hordalékgazdálkodásához kapcsolódó nemzetközi kezdeményezések

Jelen munkához kapcsolódóan készült egy másik jelentés, amely a Dráva alakítási változásait tárta fel, beazonosítva annak okait és az egyes kiváltó tevékenységek külön-külön hatására is igyekeztünk becslést adni, amennyire a rendelkezésre álló adatok engedték. Ismert, hogy a Dráva medrét a természetes morfordinamikai folyamatok mellett számos emberi tevékenység érte, ami felgyorsította az alakítási folyamatokat, elsősorban a meder mélyülését előidézte. Egyfelől a klasszikus folyószabályozási beavatkozások, amelyekkel a meder stabilizálását, az árvíz- és jégvezetést kívánták fejleszteni, váltottak ki eróziós hatást, hiszen a folyó medre keresztirányba már csak mérsékelten képes vándorolni, és a hordalékelragadó erő változása csak mélységi eróziót képest kiváltani. A folyószabályozás mellett a Dráva felső szakaszán vízlépcsőket építettek, amelyekről tudvalevő, hogy akadályozzák a természetes hordalékvándorlást, és a vízlépcsők alvízi oldalán a hordalékban szegény áramlás a folyómeder mélyülését vonhatja maga után. Feltártuk továbbá azt is, hogy rendkívüli mértékű kotrást hajtottak végre az elmúlt évtizedekben a folyó horvát és magyar-horvát közös szakaszain, ami szintén nagymértékben hozzájárult a mederszint csökkenéséhez. A hivatkozott jelentésben a kisvízszintek és mederalak időbeli változásainak feltárásával arra is rámutattunk, hogy amíg az elmúlt mintegy száz éves időszak alatt folyamatos mélyülés jellemezte szinte a teljes vizsgált Dráva szakaszt, addig pusztán az elmúlt tíz évre nézve ez a folyamat már korántsem egyértelmű, sőt az adatfeldolgozás eredményei alapján már inkább az látszik, hogy a folyómeder lassan elér, vagy már elért egy új egyensúlyi állapotot és a vertikális változások már nem jelentősek. A folyómeder horizontális irányban, azokon a szakaszokon, ahol partbiztosítással nem stabilizálták a partokat, lassú, de folyamatos változást mutat, ami elsősorban a kanyarulatok fejlődésében érhető tetten.

Egyértelmű, hogy a Dráva mederváltozásával kapcsolatos problémakör a folyóban vándorló vagy éppen nem vándorló hordalékhoz köthető. A természetes állapotokhoz képest az emberi beavatkozások mind lokálisan, mind hosszabb szakaszokra nézve, ráadásul időben is változó mértékben borították fel a hordalék egyensúlyát. A jelentésnek ezért az egyik alapvető célja, hogy kitérjen azokra a közelmúltban készített szakmai anyagokra, amelyek folyók hordalékháztartási vizsgálatával foglalkozott és még inkább, hogy bemutassa azokat a műszaki és nem műszaki beavatkozási módszereket, amelyekkel a hordalékvándorlással kapcsolatos problémák mérsékelhetők, vagy megszüntethetők, és így a folyó morfordinamikai jellemzőiben kedvező hatást válthatnak ki. Mivel a vizsgált Dráva szakasz esetében a medermélyülés okozott problémát, a következőkben olyan megoldásokat ismertetünk, amelyek a medererózióknak kitett folyószakaszok kezelésével foglalkozik, jóllehet ez nem feltétlenül tűnik indokoltnak mindenhol, hiszen sok helyütt már jelentősen mérséklődött és akár meg is szűnt a függőleges mederszint változás és inkább keresztirányú alakváltozások történnek. A folyószabályozáshoz és a hordalékkal való gazdálkodáshoz, mint a folyó medréhez közvetlenül kapcsolódó vízügyi szakágazati feladatokhoz köthető és nagy folyókra kidolgozott stratégiai anyagok közül a következőkben Dunai és Drávai esettanulmányokat tekintünk át, mert azt gondoljuk, hogy jellegükből kifolyólag ezek használhatók fel a legjobban a jelen vizsgálat témáját képző Dráva szakasz esetében. Tömör módszertani ismertetés keretében kitérünk a közelmúltban lezárult DanubeSediment projekt javaslataira, megemlítjük a Nemzetközi Duna-védelmi Bizottság (ICPDR) ajánlásait és a Dráva legalsó, Dunai torkolathoz közeli szakaszán elindult kezdeményezését.

3.1 A DanubeSediment projekt ajánlásai folyók helyreállítására

A DanubeSediment projekt célja a Duna hordalékviszonyainak feltárása, a hordalékkal kapcsolatos problémák beazonosítása, a hordalékmérleg vizsgálata volt, és egyik legfontosabb elemeként javaslatot tett a hordalékvándorláshoz köthető problémák javításának lehetséges módszereire. A projekt két legfontosabb kimenete egy hordalék kézikönyv (Habersack et al., 2019a) volt a legfontosabb érdekelt területek számára (hajózás, vízenergia-termelés, árvízvédelem és vízgyűjtő-gazdálkodás) és egy hordalékgazdálkodási útmutató (Habersack et al., 2019b). A projekt egyik leglényegesebb eredményeként kimutatták, hogy a hordalék egy jelentős vízgazdálkodási probléma (Significant Water Management Issue- SWMI) a Duna vízgyűjtőn. A felborult hordalék-háztartás kedvezőtlen hatásainak mérséklésére a projekt számos példát mutatott be a hordalékgazdálkodással kapcsolatos jó gyakorlatra.

A projektben bemutatták, hogy a víz és a hordalék egy vízfolyásrendszer alapvető elemei, amelyek nem választhatók szét, közös gazdálkodási stratégiát követelnek meg. Bármilyen, a folyóhoz kapcsolódó tervezési tevékenység során a hordalékjárást és a hordalékvándorláshoz kapcsolódó kérdéseket is figyelembe kell venni. Bármilyen beavatkozás tervezéséről is van szó, meg kell érteni a folyórendszer viselkedését, vagyis annak hosszúidejű alakulását, a jelen helyzetet, és a monitoring adatokat értékelni kell. Amennyiben egyértelművé válik, hogy valamilyen beavatkozás szükséges, a probléma forrását javasolt kezelni, semmint a probléma következményeit, ami bizonyos esetekben azt is jelentheti, hogy nem is magán a folyón, hanem annak vízgyűjtőjén szükséges beavatkozni. Egy integrált szemléletre épülő tervezési folyamat alapvető elemei a következők:

- projekt célok beazonosítása
- a tervezéssel érintett felek bevonása már a projekt kezdeti fázisában
- integrált tervezési folyamat végrehajtása
- átfogó környezeti monitoring kialakítása

Mivel a különböző beavatkozások egészen eltérő módon kerülhetnek kialakításra, nincsen általánosan jó megoldás a hordalékproblémák kezelésére. A problémás szakasz sajátosságainak figyelembe vételével kell megtervezni a beavatkozást, de a felvízi- és alvízi, sőt a vízgyűjtőre kifejtett hatásokat is szem előtt kell tartani. A DanubeSediment projekt javaslata szerint az érdekeltek korai bevonása a döntéshozatali folyamatokat jelentős mértékben megsegíti, és a projekt széleskörű elfogadottságát támogatja. Egy adott problémát orvosló beavatkozás kiválasztásakor tudni kell, hogy a hordalékvándorláshoz kapcsolódó jelenségek eltérő tér-idő skálán játszódnak le, ráadásul a hordalékjárást mellett kihathatnak egyéb lényeges jellemzőkre is, mint a vízmozgás, vízszintek, mederalakváltozás, ökológia, sőt a különböző folyóhasználok tevékenységére is.

Számos beavatkozás egyszerre több területet is érint, pl. vízenergia-termelés, árvízi kockázat, hajózás, ezért összehangolt és integrált megközelítés szükséges azok tervezésénél. Ha pl. hajózási céllal növelni kívánjuk egy folyószakaszon a víz mélységét, megtehetjük azt mesterséges szűkítéssel, ami a mederfenék mélyülését fogja okozni, és ezzel kihat pl. az folyó ökoszisztémájára. Árvízi kockázatot csökkentő beavatkozások, pl. töltések építése a hullámtérre, a főmeder és hullámtér közötti kapcsolat megszűnését vonhatják maguk után, és a hordalékelragadó erő növekedését okozhatja nagyvízi állapotban. A vízlépcsők pl. a természetes hordalékvándorlást akadályozzák, amivel a létesítmények felvízi oldalán a lerakódást és mederszint emelkedést, alvízi oldalukon pedig eróziót és a mederszintek

csökkenését okozzák. Ezen példák jól illusztrálják, hogy miért szükséges az érdekeltek bevonása és az összehangolt, integrált tervezés.

A megfelelőnek tűnő beavatkozás meghatározása után vizsgálni kell annak megvalósíthatóságát a releváns érdekeltek bevonásával, pl. egy megvalósíthatósági tanulmány keretében, kísérleti projekteken keresztül, az alábbi kérdésekre összpontosítva:

- milyen jogi vonzata, korlátozása lehet a beavatkozásnak (pl. érintett területek tulajdoni viszonyai)?
- műszaki kérdések, pl. szükségesek-e kutatások, modelltanulmányok?
- gazdasági kérdések, pl. hajózás vs. vízenergia-termelés potenciális érdekellentétek?
- ökológiai kérdések, pl. mi lesz a hatás az ökoszisztémára?
- pénzügyi kérdések, pl. költség-haszon elemzés szükségessége?
- társadalmi elfogadottság?

Egy megvalósított beavatkozás során a megváltozott rendszer folyamatos megfigyelése különösen fontos, hiszen tudni kell, mennyire volt hatékony egy adott beavatkozás, mielőtt továbbiakat valósítunk meg.

A DanubeSediment projektben megkülönböztették a különböző beavatkozás típusokat a beavatkozás helye és térbeli kiterjedése alapján. A hely szerint alapvetően két típust különböztettek meg: eróziós hatásoknak kitett szabad folyású szakaszok. és hordaléklerakódásnak kitett, jellemzően duzzasztott szakaszok. A térbeli kiterjedésnél a vízgyűjtő, a szakasz és a helyi léptékű beavatkozásokat különítették el.

Jelen tanulmányban a medersüllyedés folyamatának megállítására keresünk alkalmas beavatkozási módszereket, ezért a továbbiakban csak az ehhez problémakörhöz kapcsolódó eredményeit ismertetjük a DanubeSediment projektnek.

Mélyülő folyószakaszoknál a beavatkozások típusai lehetnek (1. ábra):

- Hordalékjárás megváltoztatása
- Meder ellenállás növelése
- Mozgási energia csökkentése
- Fenék-csúsztatófeszültség minimalizálása

Az 1. ábrán bemutatott összefüggésben η a hordalékszállító képességet jelenti, ami az alábbi, beavatkozásokkal változtatható paraméterektől függ: a hordalékszemcse jellemző mérete (d), a folyó hidraulikus sugara (R_h), a vízmélység (h), az energiavonal esése (I) és a fenék-csúsztatófeszültség (θ). A számlálóban lévő változó növelése a hordalékszállító-képesség emelkedéséhez vezet, csökkentése pedig ellenkezőleg. Az említett paraméterek alapján, a fenti négy fő beavatkozási csoport különböztethető meg.

Az első csoportban a hordalék hozam megemlése a cél. Ez megvalósítható mesterséges és kvázi természetes módon is. Előbbinél mesterségesen betáplálunk hordalékot a rendszerbe, pl. egy tározóból kicotort anyag visszajuttatásával. A természetes hordalékutánpótlás növelését pl. a parterzió növelésével, vagy a vízgyűjtő felvízi részein, pl. vízmosásokon és kisvízfolyásokon folytonos hordalékvándorlás biztosításával érhetjük el. A meder hidraulikai ellenállásának növelését a mederfeneket alkotó hordalékszemcsék átmérőjének növelésével érhetjük el, de itt mindenképpen szem előtt tartandók az ökológiai hatások (pl. Víz Keretirányelv alkalmazásával). A hordalékszállító képesség csökkentése a folyó mozgási energiájának, tehát

az esésének a csökkentésével is elérhető, pl. a problémával érintett folyószakasz hosszának növelésével. Hasonló célt érünk el a fenék-csúsztatófeszültség minimalizálásával, amit pl. a folyó szélesítésével vagy gyakoribb hullámtéri előtéssel segíthetünk elő. A legmegfelelőbb beavatkozás kiválasztása helyszín és problémafüggő és könnyen lehet, hogy több beavatkozás típus együttes alkalmazásával érhető el az optimális hatás. A korábbiak szerint a DanubeSediment projektben három eltérő léptékű beavatkozás típust javasoltak:

- **Vízgyűjtő léptékű**

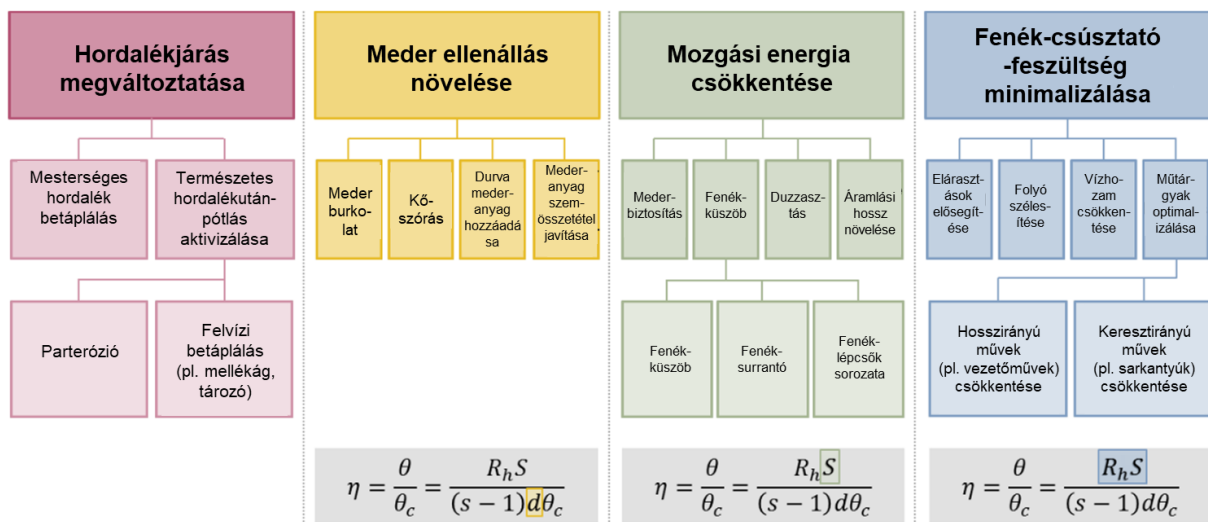
A vízgyűjtőkön végzett beavatkozások azért fontosak, mert általában a probléma forrásánál alkalmazzuk, ott, ahol a hordalék keletkezik, ahol a víz és a hordalék a folyórendszerbe bekerül. A projektben javasolt különböző beavatkozások a finom hordalék mennyiségének csökkentését és a durva, görgetett hordalék mennyiségének növelését célozzák. A műszaki beavatkozásokon túl a projekt javaslatot tesz jogi és adminisztratív jellegű eszközökre is és magára a hordalékkal való gazdálkodásra is.

- **Folyószakasz léptékű**

A folyószakasz léptékű beavatkozások jönnek leginkább szóba pl. vízügyi feladatoknál, azok helyi és időbeli jellemzői miatt. Szabad folyású, erózióra hajlamos folyószakaszoknál a javasolt beavatkozások célja elsősorban a hordalékhozam növelése és az eróziós hatások csökkentése.

- **Helyi léptékű**

Helyi léptékű beavatkozások rövidebb szakaszokon valósulnak meg, hosszúk jellemzően a folyószélesség néhányszorosa. Ezek lehetnek pl. hatékonyabb hordalékátjutást biztosító vízlépcső kialakítások, mesterséges hordalék betáplálás vagy az eróziós hatások csökkentése.



(modified after Habersack et al., 2013)

1. ábra: A medermélyülést csökkentő műszaki beavatkozási módszerek csoportjai.

3.2 A Nemzetközi Duna Védelmi Bizottság (ICPDR) ajánlásai

Az alábbiaknak nem kimondottan a folyómeder mélyüléshez kapcsolódó problémák kezelésével foglalkozó kezdeményezést mutatunk be, hanem a Nemzetközi Duna Védelmi Bizottság (ICPDR) hajózással és vízenergia-termeléssel kapcsolatos, de a környezetvédelmi hatásokat is figyelembe vevő javaslatait érintjük, mert mindkét esetben kiemelt szerepe van a hordalékkal való gazdálkodásnak és az ahhoz kapcsolódó problémakörnek.

3.2.1 A belvízi hajózás fejlesztése és a környezet védelme a Duna vízgyűjtőjén - Közös Nyilatkozat az Útmutató Elvekről (ICPDR, 2007):

A belvízi hajózás segítségével a közlekedés környezetvédelmi szempontból fenntarthatóbbá tehető, különösen olyan helyeken, ahol kiváltja a közúti közlekedést. A belvízi hajózás azonban jelentős hatással lehet a folyami ökoszisztémára is, és így veszélybe sodorhatja az EU Víz Keretirányelvének célkitűzéseit, amely a vizek "jó ökológiai állapotának" elérését tűzte ki célul 2015-ig. Felismerve ezt a potenciális érdekellentétet, a Duna és a Száva folyók mentén megvalósuló számos új víziút projektben, a Nemzetközi Duna Védelmi Bizottság (ICPDR) a Duna Bizottsággal és a Nemzetközi Száva Vízgyűjtő Bizottsággal felvette a kapcsolatot és 2007-ben egy intenzív ágazatok közötti párbeszédet folytatott le. Három interdiszciplináris munkaülés eredményeként az alábbi közös nyilatkozatban állapodtak meg: "Közös Nyilatkozat a belvízi hajózás fejlesztésének és a környezet védelmének Útmutató Elveiről a Duna vízgyűjtőjén". A végleges dokumentumot 2008. januárban fogadta el az ICPDR, a Duna Bizottság és a Nemzetközi Száva Vízgyűjtő Bizottság. A "Közös Nyilatkozat" a meglévő víziutak fenntartásának és a jövőbeli víziút infrastruktúra fejlesztésének iránymutató dokumentuma. Mérőföldkönek tekinthető, amely az ökológiának a víziutak fejlesztésébe való beintegrálásához vezet.

A Duna folyó ökológiai integritása megőrzéséhez az alábbi igényeknek kell teljesülniük:

- védelem alatt álló/megőrzött, természetes vagy ökológiai szempontból nagy értéket képviselő folyómenti tájak, folyószakaszok és vízi élőlénycsoportok.
- a módosított/befolyásolt folyószakaszok és azokhoz csatlakozó tájak helyreállítása.
- dinamikus és az adott szakasz sajátosságait reprezentáló folyómeder és ártéri környezet (az áramlási viszonyokra, partvonalakra, mellékágakra és árterekre vonatkozóan), amelyek dinamikus egyensúlyt és megfelelő átjárhatósági feltételeket biztosítanak.
- valamennyi halfaj és más, vízhez kötődő faj zavartalan hossz- és keresztirányú vándorlása, hogy biztosítsák azok természetes és öfenntartó fejlődését.
- kiegyensúlyozott hordalékviszonyok.

Ezeket az igényeket olyan integrált elképzelések és tervek alapján kell megvalósítani, amelyek a Duna ökoszisztémájának vízgyűjtő-szintű jellemzésén és a folyamatorientált „Leitbild” megközelítésen alapulnak (referenciaállapot/jövőbe mutató megközelítés használata, beleértve a vízi- átmeneti és szárazföldi biológiai közösségeket). Továbbá az egész vízgyűjtőre kiterjedő egységes monitorozásra van szükség, amely a VKI-nak megfelelő, meglévő nemzeti monitorozási programokon alapul.

A folyószabályozás kritériumai

A fent említett tervezési alapelvek megvalósításához a hajózási projektek tervezési szakaszában az alábbi kritériumokat kell megvalósítani:

- Eseti megközelítés alkalmazása, amely figyelembe veszi a folyószakaszok ökológiai szükségleteit és a vízgyűjtő-szintet, valamint a belvízi szállítás (Inland Waterway Transport – IWT) stratégiai követelményeit vízgyűjtő-szinten a megfelelő hajózóút szélességének és mélységének meghatározásakor.
- „Együttműködve a természettel”, ahol csak lehetséges, az intézkedéseknek az adott természetes folyó-morfológiai folyamatok szerinti megvalósításával, betartva a minimális vagy ideiglenes műszaki beavatkozás alapelvét.
- A szabályzási rendszerek integrált tervezése, egyformán figyelembe véve a hidraulikai, morfológiai és ökológiai kritériumokat.
- Az intézkedések alkalmazkodó formában történő végrehajtása (például folyómeder-stabilizáció granulometrikus mederjavítással, kisvízi szabályozása sarkantyúkkal).
- A folyó-helyreállítási potenciál optimális kihasználása (például folyópart-helyreállítás) és mellékágak visszacsatolása.
- Annak biztosítása, hogy az árvízi szintek nem emelkednek, és ideális esetben csökkennek.

3.2.2 ICPDR Sustainable Hydropower Development in the Danube Basin – Guiding Principles (ICPDR, 2013)

Az ICPDR nemcsak a hajózással kapcsolatban adott ki tervezési alapelveket, hanem a vízenergia hasznosítással kapcsolatban is. A duzzasztással a hordalékszállítás biztonsága megkérdőjelezhetővé válik.

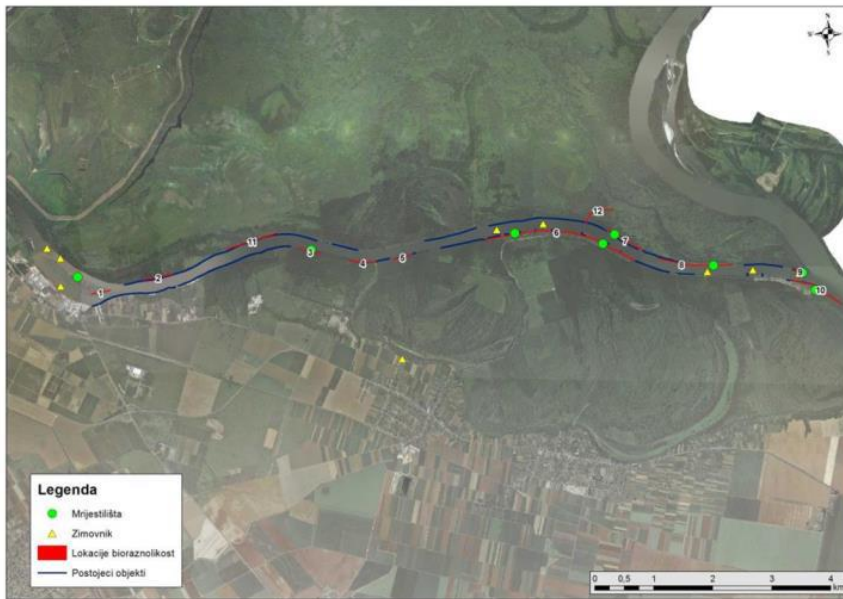
A hordalékszállítás biztosítása

Jelenleg a Duna vízgyűjtőn belüli legtöbb nagy folyó hordalék egyensúlya zavart vagy súlyosan megváltozott. Az utóbbi 150 év folyamán bekövetkező morfológiai változások, amelyek a folyami mérnöki munkák, az árvíz szabályozás, a vízenergia fejlesztése és a kotrás, valamint a szomszédos árterek közel 90% -kal történő csökkentésével járnak, a hatás legjelentősebb okai. A gát fölött, egy tározóban vagy a lépcsőzött szakaszokban a víz hordalékszallító képességének csökkentése hordaléklerakódást eredményez. Ezt a visszatartott hordalékot bizonyos időnként el kell távolítani, hogy fenntartható legyen a folyó mélysége a hajózáshoz és a tározó üzemeltetéséhez, valamint árvíz esetén a vízszint magasságának korlátozása érdekében.

3.3 Dráva alsó szakaszának víziút fejlesztése

A Kopácsi Rét Nature Parkon átmenő 0 és 12 fkm-ek közötti folyószakasz a példa arra (2. ábra), hogy 2013-ban megkezdtek egy integrált egyeztetést a Nemzeti Park és víziút fenntartó AVP között, hogy a drávai víziutat az észéki kikötő és Dunába torkolás közötti szakaszon jó állapotban tartsák. A következő tanulságokat vonták le a közös munkából:

- Az interdiszciplináris megközelítés szinergiákat hoz létre, és lehetővé teszi, hogy a sokrétű célok láthatóan kevesebb erőfeszítéssel teljesüljenek;
- A Víz Keretirányelv céljainak sikeres megvalósítása érdekében elengedhetetlen, hogy a víziút fenntartó szorosan együttműködjön a vízügyi és természetvédelmi hatóságokkal.



2. ábra: Műholdkép a projekt helyszínéről (forrás: AVP).

Szintén az AVP oldalán találtuk ezt a környezetvédelmi szempontból fontos példát, Dunán alkalmazott rőzsekolbászok alkalmazására, mint partvédmű (3. ábra).



3. ábra: Geotextília és rőzsekolbászok alkalmazása Horvátországban (forrás: AVP).

4 A meder süllyedésének lassítását célzó megoldások

Az előző fejezetben bemutatuk, hogy a Duna vízgyűjtőn vannak olyan kezdeményezések, amelyek a folyómeder kedvezőtlen változására igyekeznek megoldási javaslatokkal élni. A jelen munkához kapcsolódó másik jelentésben, amelyik a Dráva alakváltozási vizsgálatával foglalkozik, bemutatuk, hogy a vizsgált Dráva-szakaszon a medermélyülés az a jelenség, amit orvosolni kell. A már hivatkozott DanubeSediment projektben, és számos külföldi folyószabályozási projektben találhatunk olyan újszerű beavatkozási módszereket, amelyek célja a meder eróziójának mérséklése, a folyómeder stabilizálása. Az alábbi pontokban igyekeztünk a lehető legszélesebb körben feltárni ezeket a műszaki módszereket. A különböző megoldásokhoz jó példákat is mutatunk azzal a céllal, hogy illusztráljuk azok alkalmazhatóságát, jóllehet az előző fejezetben leírtak szerint fontos szem előtt tartani, hogy bármilyen megoldási javaslatról is van szó, vizsgálni szükséges a helyi sajátosságokhoz való illeszthetőségét, mivel általános jó beavatkozási módszerekről nem beszélhetünk. A bemutatott folyószabályozási módszerek egy része jellemzően helyi léptékű beavatkozást, egy részük pedig hosszabb szakaszokra alkalmazandó megoldásokat jelent.

4.1 Innovatív folyószabályozási művek (helyi beavatkozás típusok)

Az innovatív folyószabályozási eszközök célja a folyók menti élőhelyek védelme, javítása. Alkalmazásuk jellemzően komplex megközelítésre épül, a hagyományos folyószabályozási módszerek kombinációival vagy éppen a hagyományos eljárásokkal ellentétben, a szabályozás előtti állapotok elérését célozzák. Hagyományos eljárásokon a hazánkban a 19. század végétől a legtöbb nagy folyónkon alkalmazott folyószabályozási módszert értjük, ahol kőművekkel, sarkantyúkkal, vezetőküvekkel, bekötő keresztgátakkal, partbiztosítással és kotrással stabilizálták a folyómedret. Az innovatív beavatkozási módszerek alkalmazásánál az áramlási és medermorfológiai viszonyok változékonyságának növelése is fontos szempont.

4.1.1 Meglévő sarkantyúk átalakítása

4.1.1.1 Koronaszintek csökkentése

A sarkantyúk koronaszintjét korábban is a kisvízi vízszintre méretezték, de az eróziós szakaszokon a vízszintek folyamatos csökkenésével a sarkantyúk magasságának csökkentése a hajózás számára nem fog problémát okozni, míg a környezet számára pozitív eredményekkel szolgálhat. Ez a beavatkozás típus csökkenti a sarkantyúk szigetképző hatását, és a meder látszólagos érdekességét, ezzel elősegítve az árvízszintek csökkenését.

4.1.1.2 Sarkantyúk partközeli részének átvágása

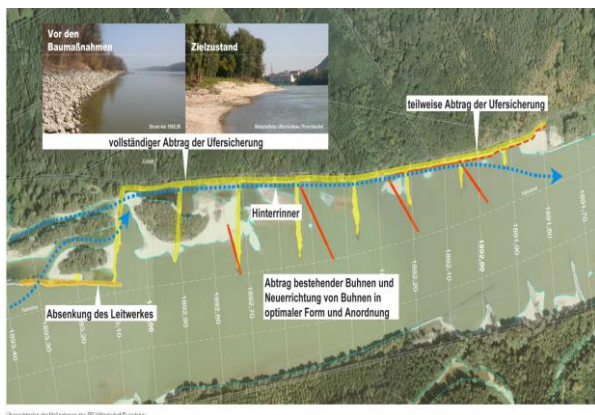
A meglévő sarkantyúk part felőli végét (akár teljesen) elbontva, vagy egy mélyedést kialakítva, ahol a vízparton hajózási kisvíz (esetleg kisvíz) alatt is vízmozgás alakulhat ki, a hajózás számára nem fog problémát okozni, míg az ökológia számára pozitív eredményekkel szolgál azzal, hogy a part közeli lassú áramlású zónák helyett egy sávban intenzív áramlást idéz elő. A beavatkozással a part közeli hordalékmozgás is erőteljesebbé válik, ami kedvezőbb morfológiai viszonyokat idéz elő. Az intenzívebb áramlással csökkenthető a szigetképző hatás, a hordaléklerakódás és víz tartózkodási ideje, akár nő a parterózió, ami mind az ökológiai állapot javulásához vezet.

4.1.1.3 Művek közötti távolság vagy sarkantyú alakjának megváltoztatása

A területen már meglévő sarkantyúk átépítése akár addig is elmehet, hogy a sarkantyúk alakját (pl.: görbe vonalú sarkantyú: az íves vagy görbe vonalú alaprajzú sarkantyú csökkenti a hordaléklerakódást, de növeli a parteróziót), illetve egymástól való távolságát is megváltoztathatjuk. A nagyobb távolság miatt csökken a sziget-képződés, a hordaléklerakódás, lerövidül a víz tartózkodási ideje, viszont csökken a vízszint növelő hatás is. Magasságuk és parttal való kapcsolatuk mindemellett szintén változtatható, lásd fent. A sarkantyúk hossza is változtatható, mivel a hosszabb sarkantyúk magasabb vízszinthez vezetnek, viszont így a fenécsúsztatófeszültség is nő, ami a főmederben erőteljesebb eróziót okozhat.

A következő táblázat (SEDDON, 2014) összegezve mutatja a paraméterek változtatásának a hatását középvíz esetén a mederfenék szintjére (a táblázatban RNQ a kisvízhozamot, MQ a középvízhozamot, HSQ pedig nagyvízi állapotot jelöl), az ábra (4. ábra) pedig a különböző sarkantyú kialakításokra mutat példát a Duna osztrák szakaszára végzett vizsgálatokból, és egy megvalósított sarkantyú koronaszint csökkentését és part közeli átvágást.

Sarkantyú változók	áramlási sebesség			fenékközeli csúsztató feszültség			vízszint magasság			mederszint változás		
	RNQ	MQ	HSQ	RNQ	MQ	HSQ	RNQ	MQ	HSQ	RNQ	MQ	HSQ
Merőleges sarkantyú kialakítás	≈	↑	≈	↑	↑	↑	≈	↑↑	↓	≈	≈	≈
Dőlt szögű sarkantyú kialakítás	≈	↑	≈	≈	↑	↑	≈	↑	↓↓	≈	≈	↓
Átlagos sarkantyúk közötti távolság	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑↑	↑	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓
Háromszoros sarkantyúk közötti távolság	↓	↑	≈	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑↑	↓↓	↓
Csökkentett sarkantyú hossz	↑	↑	≈	↓	↑	↑	↓	↑	≈	↓	↓	↓
Növelt sarkantyú hossz	↓	↓	≈	↓	↓	↓	↓	↑	≈	↑	↑	↑
Megnövelt sarkantyú magasság	-	↑↑↑	↑	-	↑↑↑	↑	-	↑↑↑	≈	-	↓↓↓	↓↓↓



4. ábra: Sarkantyúk kiosztásának és irányának megváltoztatása a tervben (bal) és egy meglévő sarkantyú koronaszint csökkentése és part közeli átvágása (osztrák példa a Bécs alatti Duna szakaszról)

4.1.2 Chevron-gátak

A Chevron-gátak lekerekített csúcsú, íves kőművek a folyóval párhuzamosan, ahol a folyó energiáját hasznosítják az áramlás és a hordalék újraelosztásához. Általában a parttól elkülönülve, de ahhoz közel épülnek, így leválasztva mellékágat, medermélyülést és zátony kialakulását okozva. Mély kimosódás jön létre a chevron „belsejében”, amiben alacsony a sebesség, így jó áttelelőhely a halaknak. A part mentén mély, alacsony sebességű, a hajzóúttól védett csatorna alakul ki. Dinamikusan változó szigetek jönnek létre a chevron alatt. Az első chevronok a Mississippin épültek a ‘90-es évek elején (5. ábra), illetve a közelünkben 2019-

ben épült az első Szerbiában, Újvidéknél. Eddig chevronok a legjobb tudásunk szerint csak homokos medrű folyószakaszokon épültek. Az ilyen típusú művek kialakításának célja többes, főként az ökológiai diverzitás növelése (gazdag és változatos vízi élőhelyet hoznak létre), a hordaléklerakódás megelőzése a part mentén és mindemellett megfelelő mélység biztosítása a hajózóútban. Remo et al. (2013) terepi adatok és számítógépes modellvizsgálatok segítségével igazolta, hogy az Egyesült Államokbeli Mississippin megépített Chevron-gátak a folyami élőhelyek heterogenitását emelte.



5. ábra: Chevron gátak a Mississippin folyón az Egyesült Államokban.

4.1.3 Fenékbordák

Alacsony, víz alatti kőművek, amelyek jellemzően a folyókanyarulat külső partjától indulva felvízi irányba döntve (ált. 30 fokkal) vannak elhelyezve. Közvetlenül a hajózási útbá nyúlnak az elhaladó hajók alatt. Ezek a művek megváltoztatják a folyó másodlagos áramlásait és csökkentik az ív külső partján az eróziót. Mivel megakadályozzák a meder további mélyülését, az ellenkező oldali part irányába természetes módon kiszélesedik a hajózóút, így a sekélyebb szakaszon fog mélyülni. Ezáltal szélesebb és biztonságosabb hajózási utat hoz létre a folyókanyarban, így nincs szükség rendszeres kotrásra. Az Egyesült Államokbeli Mississippin folyón a fenékbordákat általában sikeresen alkalmazták (6. ábra). A legnagyobb probléma az volt, hogy az építésükhöz megfelelő mélység álljon rendelkezésre. A bordák magassága általában 0,6-2 m között volt, a borda legmagasabb pontja viszont 4,5 m-rel a kisvízszint alatt kell, hogy legyen (2,7 méteres merüléssel számolva). Elhelyezésével kapcsolatban érdemes megjegyezni, hogy a kanyarban a maximális szélesség eléréséhez a fenékbordák között levő távolságnak nagyjából a hajóútnak a kanyar legkeskenyebb pontjában mért szélességével kell megegyeznie. A művek hosszára vonatkozóan a cél, hogy a lehető leghosszabbra tervezzék, mert minél hosszabb a fenékborda, annál kedvezőbb hajóút viszonyok alakulnak ki.

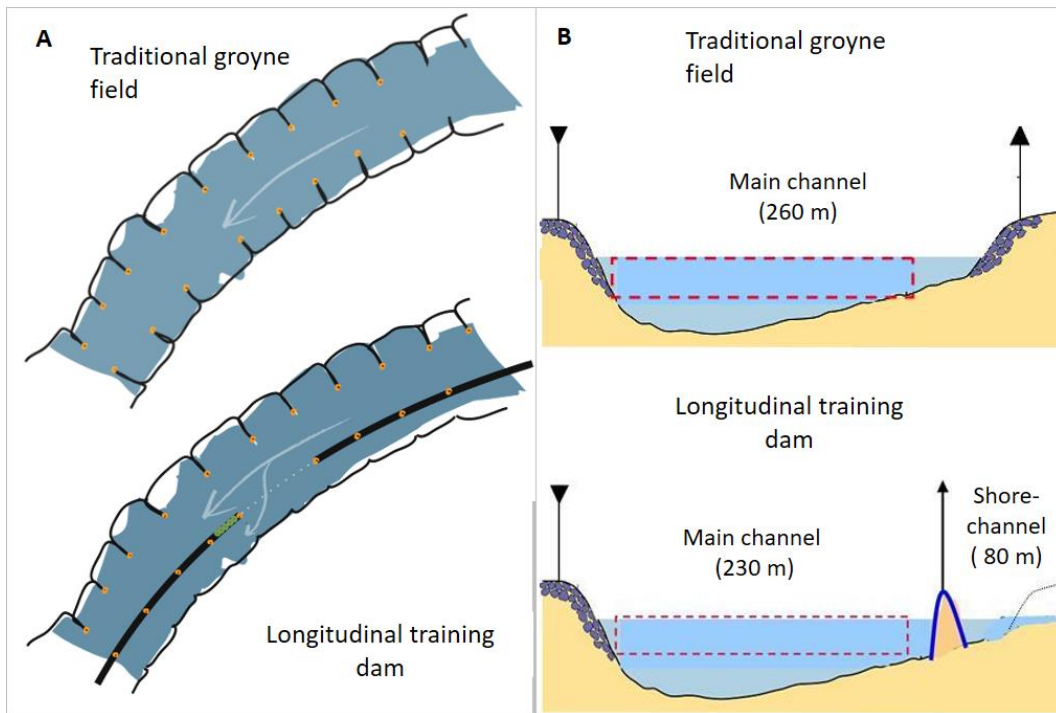
Az Amerikai Mérnökhadtest több pozitív környezeti hatásról is beszámolt fenékbordák alkalmazása kapcsán (https://www.mvs-wc.usace.army.mil/arc/Basics_Weirs.html). Vizsgálataik szerint a fenékbordák a korábban szűk, mély, homogén mederalakkal és áramlási viszonyokkal jellemezhető folyókanyarokban változatosabb jellemzőket alakított ki, ahol pl. a veszélyeztetett ásóorrú tokok száma megnövekedett. A Missouri folyón kialakított fenékbordák környezetében szintén megnövekedett faji diverzitást találtak mind halak mind makrogerinctelenek tekintetében.



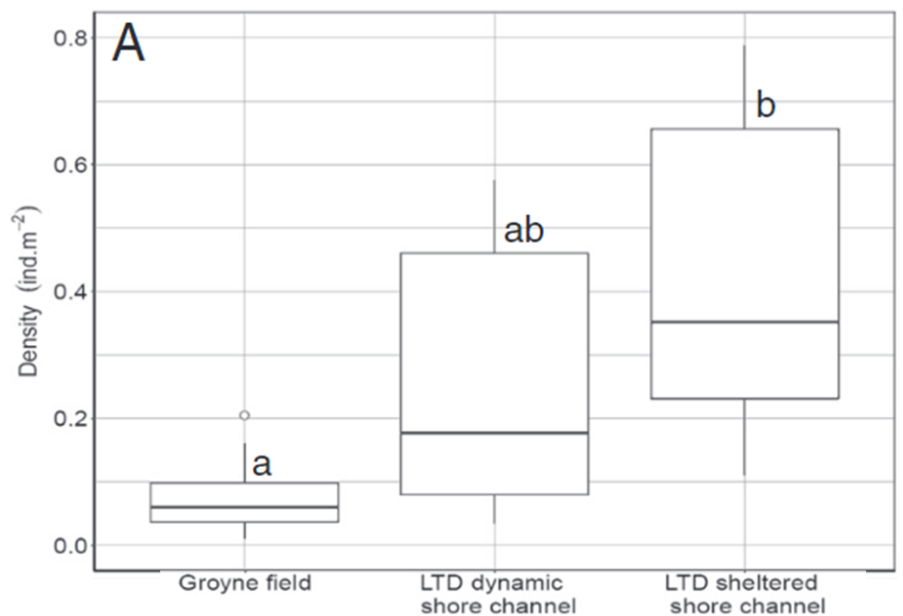
6. ábra: Fenékbordák a Mississippi folyón az Egyesült Államokban.

4.1.4 Innovatív hosszirányú művek

Hollandiában 2011-ben tervezték a lenti ábrán (7. ábra) látható párhuzamművet a Waal folyón, amiről a megépülése óta ugyan a hajózási viszonyokkal kapcsolatban nem áll elegendő információ rendelkezésre, de a környezeti monitoring adatok alapján elmondható, hogy ökológiai szempontból kedvező változásokat okozott a beavatkozás (Collas et al., 2018). Nagy vízhozamnál a folyó szélesedését nem akadályozza, viszont kis vízhozamnál a létrehozott hajóúttal párhuzamos csatorna védett a hajózás hatásaitól pl: hullámozás, így a hajóútban a mélységet növelni fogja majd. A partok pedig a hagyományos sarkantyúsort helyett eredeti állapotban maradnak meg, ami ökológiai hozzáadott értéket jelent. A hivatkozott tanulmányban bemutatták, hogy a halsűrűség a vezetőmű által védett területen jelentősen megemelkedett, a környéken lévő sarkantyúzott területekhez képest (8. ábra).



7. ábra: Egy hollandiai tanulmányban a hagyományos sarkantúrsor helyett a folyó bal partja mentén egy párhuzamművet alakítottak ki, ami a hajózási viszonyok megtartása mellett kedvezőbb ökológiai feltételeket eredményezett (Collas et al., 2018).

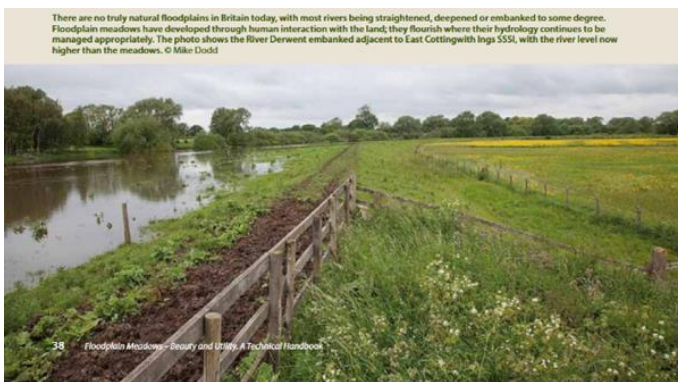


8. ábra: A mintaterületen végrehajtott halmintázás során kapott halsűrűség adatok a sarkantúrozott területen (bal), a vezető fel- és alvízi végén (közép) és a vezetőmű által védett zónában (jobb) (Collas et al., 2018).

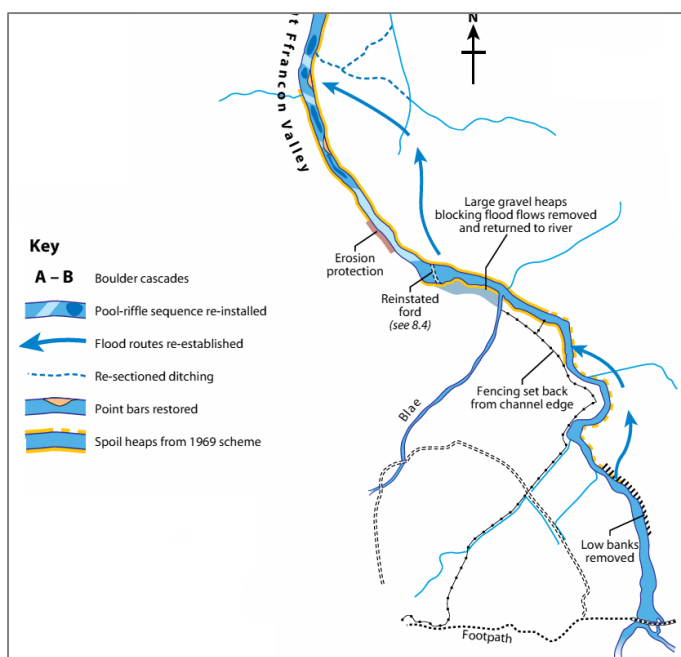
4.2 Folyószakasz léptékű medersüllyedést mérséklő beavatkozás típusok

4.2.1 A folyó számára rendelkezésre álló (morfológiai) tér növelése

Ezen beavatkozás a hullámtér, ártér és a meder együttes növelésére irányul termőföldek, legelők vagy használaton kívüli területek bevonásával (9. ábra és 10. ábra). A beavatkozás hatásai *hosszútávon érvényesülnek*. Várhatóan növeli a folyóba jutó hordalékmennyiséget, valamint közepes mértékben csökkenti a medererózió nagyságát azzal, hogy a morfordinamikai folyamatok nagyobb területen mehetnek végbe. Mindemellett, a nagyvíz idején kialakuló vízszinteket is csökkentheti. Ökológiai szempontból a folyószakasz mentén elérhető vizes élőhelyek és a biodiverzitás növelésével jár. Ezzel együtt a vízjárta terület kiterjedése nő, ami a vízhez alkalmazkodó gazdálkodási lehetőségeket javítja (növénytermesztés, erdőgazdálkodás, rét és legelő hasznosítás terén). Becslések szerint a megnövelt területsáv a folyó átlagos szélességének 3-7-szeresét kell, hogy elérje.



9. ábra Ártéri legelő Angliában.



10. ábra A meder és a part növelésére tett beavatkozások Angliában.

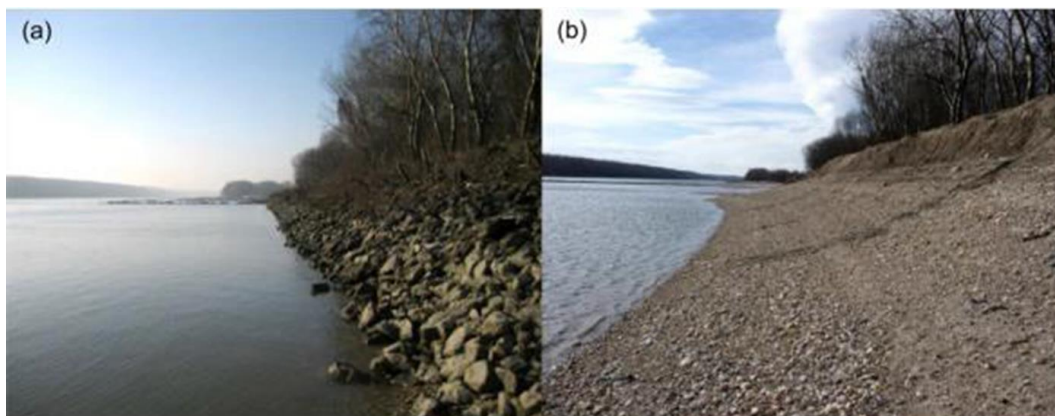
Ugyanakkor, kivitelezése nehézségekbe ütközhet ott, ahol már kiépült infrastruktúra hálózza be a bevonható területeket. Továbbá, a beavatkozás után az érintett területet épületektől, egyéb infrastruktúrától mentesen kell megtartani. Így tehát a területigény az, ami az eljárás hátrányaként felmerülhet, valamint az, hogy egyelőre még nem egy bevett, mindennapos eljárás típus.

Jó példák megvalósult beavatkozásokra és részletes esettanulmányok, angol nyelven itt találhatóak:

- <http://www.floodplainmeadows.org.uk/about-meadows/restoration/case-studies>
- <http://www.floodplainmeadows.org.uk/sites/www.floodplainmeadows.org.uk/files/Floodplain%20Meadows%20-%20Beauty%20and%20Utility%20A%20Technical%20Handbook.pdf>
- <https://www.therrc.co.uk/why-restore>

4.2.2 A folyó kiszélesítése

Ezen beavatkozás kifejezetten *kavicsos medrű* szakaszokon jöhet szóba, s lényege a folyómeder kiszélesítése a partvédelmi művek elbontásával (11. ábra, 12. ábra). A partbiztosítás elbontását sikeresen alkalmazták a Duna ausztriai, Béctől keletre fekvő szakaszán és pl. a németországi Isar folyón is. A part bevonásával az eredetileg mélyülő mederre jutó erózió mértéke közepes mértékben lecsökken, tehermentesül. A beavatkozás további pozitív hozadékaként a partmenti zónák ökológiai állapota is javulásnak indul. A hatások középtávon érvényesülnek. A módszer külföldön már jól ismert, gyakran alkalmazott. Az ily módon, újonnan megnyitott parti zónákból a folyóba jutó többlet hordalék által okozott mederfeltöltődés a hajózhatóságra veszélyt jelenthet. Ilyen igény esetén tehát a szükséges mélység megmaradását biztosítani kell (pl. sarkantyú építésével). A partvédő művek elbontásánál továbbá az árvízi védekezés és a közeli infrastruktúra (ha van ilyen) stabilitási szempontjait is meg kell fontolni. Hosszú távon, ha a felvízről nem érkezik elegendő hordalék, akkor a medersüllyedés ismét tapasztalható lehet. Ezért, e módszert kiegészítő, mederstabilizáló beavatkozásokkal együtt ajánlott alkalmazni, mint például fenéklépcső és fenékbordák beépítése (mindezt a halak átjárhatóságát biztosító hidraulika megtartása mellett) és a meder páncélozása nagyméretű kövek lerakásával. Ezen kiegészítések elhagyásával a vízszint és a hullámtéri talajvízszint süllyedés ugyanúgy bekövetkezhet hosszútávon.



11. ábra Partbiztosítás visszabontása a Duna Bécs alatti szakaszán (forrás:

https://boku.ac.at/fileadmin/data/H01000/H10090/H10400/Exk_Bad_Dt._Altenburg/20131030_KT-Exkursion-PP-BDA_T1-Ilias.pdf)



12. ábra Elbontott partbiztosítás területén kialakuló parterózió (Isar folyó, forrás: https://www.wwa-m.bayern.de/fluesse_seen/massnahmen/gek_mittlere_isar/ufer_achering_freising/index.htm)

Jó példák megvalósult beavatkozásokra és részletes esettanulmányok, angol nyelven itt találhatóak:

- <http://nwrn.eu/measure/elimination-riverbank-protection>
- <https://www.baw.at/en/wasserbau-en/projekte-wasserbau-en/abgeschlossene-projekte-wasserbau-en/river-bed-stabilisation-flood-protection-gail.html>
- http://www.boku.ac.at/fileadmin/data/H01000/H10090/H10400/Exk_Bad_Dt._Altenburg/20131030_KT-Exkursion-PP-BDA_T1-Ilias.pdf

4.2.3 Holtágak visszacsatolása (folyó hosszának növelése az esés csökkentésének érdekében)

Ezen beavatkozás a meder és a partvonal átszabásával jár (13. ábra). Hosszútávon közepes mértékben csökkenti a medereróziót, hisz a hossz növekedésével az esés csökkenésén keresztül stabilizálja a medret, továbbá a visszacsatolt holtágakat, meandereket is bevonja a hordalékszállításba. Ökológiai szempontból *jóteköny hatása igen magas*. A vizes élőhelyeket és a biodiverzitást növeli. A beavatkozás külföldön már több ízben is bizonyította hatékonyságát, bevett módszer. Hátrányként felhozható, hogy tartós, felvízről érkező hordalékutánpótlás hiánya érzékenyen érinti, s ez esetben a medersüllyedés hosszútávon nem fog megszűnni. Továbbá, infrastruktúrával sűrűn átszőtt területeken a kivitelezés szintén nehézségekbe ütközhet. Ezen régóta lefűződött, levágott, a főmedertől távolabb eső, többnyire már növényzettel benőtt holtágak visszacsatolása nagyobb gépimunkával jár.



13. ábra Holtág visszacsatolás az osztrák Duna szakaszon Bad-Deutsch-Altenburg térségében.

Jó példák megvalósult beavatkozásokra és részletes esettanulmányok, angol nyelven itt találhatóak:

- <https://midcolumbiafisheries.org/restoration/floodplain-reconnection/>
- http://www.danubeparks.org/files/1985_Drava_vizvar_revitalization_ENG.pdf
- <https://norcalwater.org/wp-content/uploads/LakeCaliforniaSideChannel-FINAL-1.26.pdf>
- <https://www.luckiamutelwc.org/upper-luckiamute-side-channel-reconnection-project.html>
- http://www.boku.ac.at/fileadmin/data/H01000/H10090/H10400/Exk_Bad_Dt._Altenburg/20131030_KT-Exkursion-PP-BDA_T1-Ilias.pdf

4.2.4 Mellékágak visszacsatolása

A szigetek fontos élőhelyeket jelentenek a folyami környezetben, sőt a szigetekhez csatlakozó mellékágak is, amelyek pl. sokszor jelentős ívóhelyek. A mellékágrendszerek folyók hullámterének egyfajta kapillárisrendszereként is felfoghatók, amelyek természetes folyósokat jelentenek különböző állat- és növényfajok számára. A mellékágak (főmederhez közelebbi, hordalékfeltöltődés hatására levált ágak) visszacsatolásával a főmederben a fenéknírófeszültség kisebb mértékben csökkenni fog, valamint ez utóbbi hordalék utánpótlást is kap a becsatolt területekről, így a kimélyülés mérséklődik. Hatására a mellékágak ökológiai állapota jelentősen fejlődni fog. Továbbá, ha a főmederrel való összeköttetésük folyamatosan biztosított, állandó menedékként szolgálhat a hajók keltette hullámszél elöl is és makrogerinctelenek által kedvelt élőhellyé válhatnak. Kismértékben a főmeder vízszintje is csökken nagyvíz idején. A hatások hosszútávon érvényesülnek. A beavatkozásokat olyan területeken, ahol korábban a főmedertől mesterséges módszerekkel leválasztották a mellékágakat, már több esetben sikeresen alkalmazták. A Duna esetében találunk ausztriai példát a Donau-Auen Nemzeti Park területén, ahol a Wolfsthal-sziget visszacsatolását végezték el 9 db sarkantyú elbontásával (14. ábra). A Dráva mentén is több példát találunk mellékágak revitalizációjára, pl. a Drávakeresztúri, Drávatamasi, Tótyúfalui és a Drávapalkonyai mellékágak visszacsatolása.

Ezeknél a projekteknél a mellékágat elzáró kőműveket bontották el és a meder kotrásával biztosították, hogy a Dráva vízhozamának egy része ezeken a területeken folyjon le. A magyarországi Dunán pl. a Szabadság-sziget revitalizációja emelhető ki, ahol a mesterségesen elzárt mellékágat megnyitották és mintegy 160.000 m³ hordalékot kotortak ki (15. ábra).

A módszer más országokban is már több ízben bizonyította hatékonyságát, bevett módszer (16. ábra és 17. ábra). Fontos ennél a beavatkozás típusnál figyelembe venni, hogy ha a megfelelő vízhozam nem biztosított, akkor a mellékágak egy idő után feltöltődnek hordalékkal, ezért a megfelelő kialakítás igen fontos. Biztosítani kell továbbá azt is, hogy a főmeder és a mellékágak kisvíz idején is össze legyenek kapcsolva. A főmederben a csökkentett vízszint problémát okozhat a hajózás számára.



14. ábra Wolfsthal sziget visszacsatolása a Duna ausztriai szakaszán (forrás: <http://www.interreg-danube.eu/news-and-events/project-news/3262>)



15. ábra A Szabadság-sziget helyreállítása a Duna hazai szakaszán (forrás: <https://wwf.hu/hireink/vizeselohelyek/ujra-vizi-paradicsom-a-szabadsag-sziget/>)



16. ábra Thaya folyó, visszacsatolt mellékág (Csehország - Ausztria).



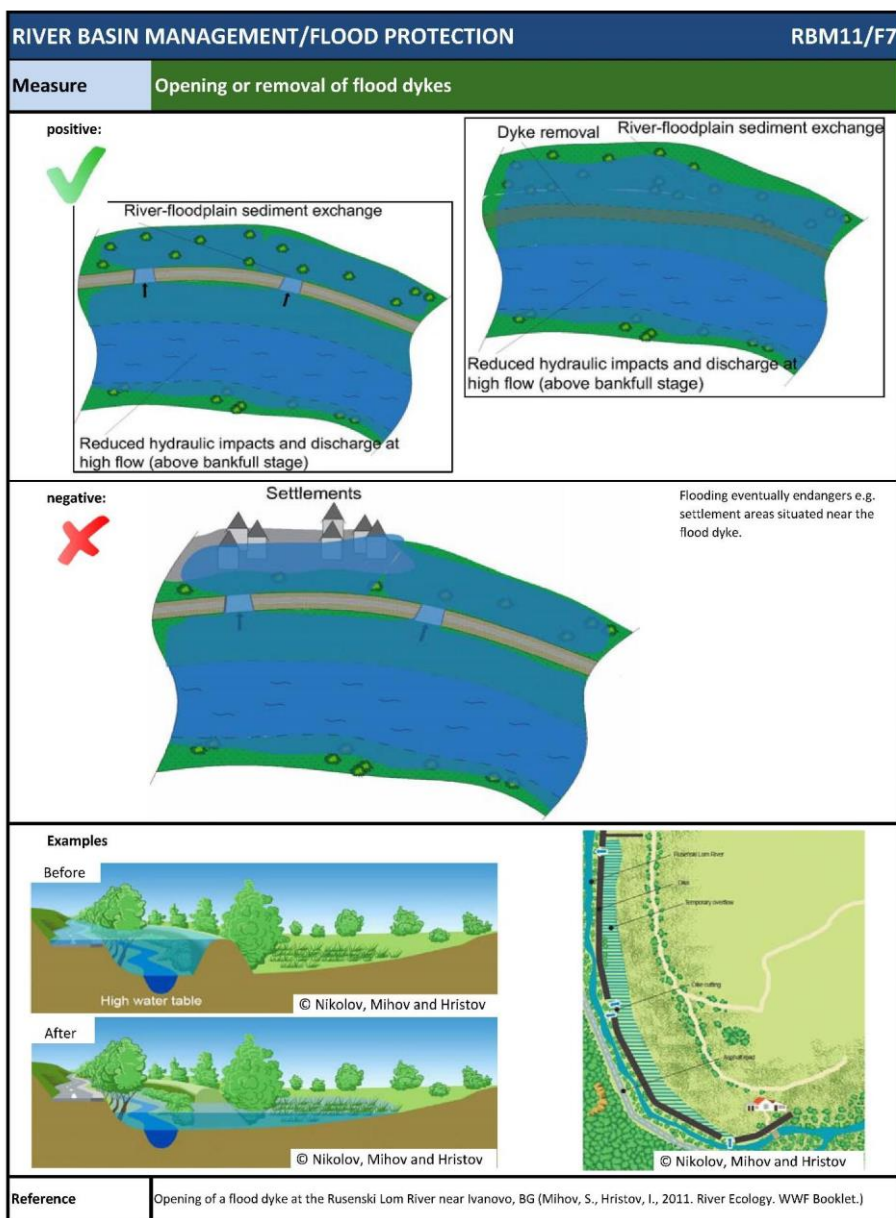
17. ábra Kissimmee folyó és egy visszacsatolt mellékága (Anglia).

Jó példák megvalósult beavatkozásokra és részletes esettanulmányok, angol nyelven itt találhatóak:

- https://ec.europa.eu/regional_policy/en/projects/Austria/cross-border-cooperation-results-in-a-revitalised-thaya-river-valley
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-015-2530-8>
- <http://nwrn.eu/id-card/files/assets/basic-html/page69.html>
- <http://nwrn.eu/id-card/files/assets/basic-html/page63.html>
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/clen.201000491>
- <https://wwf.hu/archiv/szabadsag-sziget>

4.2.5 Árvízvédelmi gátak megnyitása, vagy elbontása

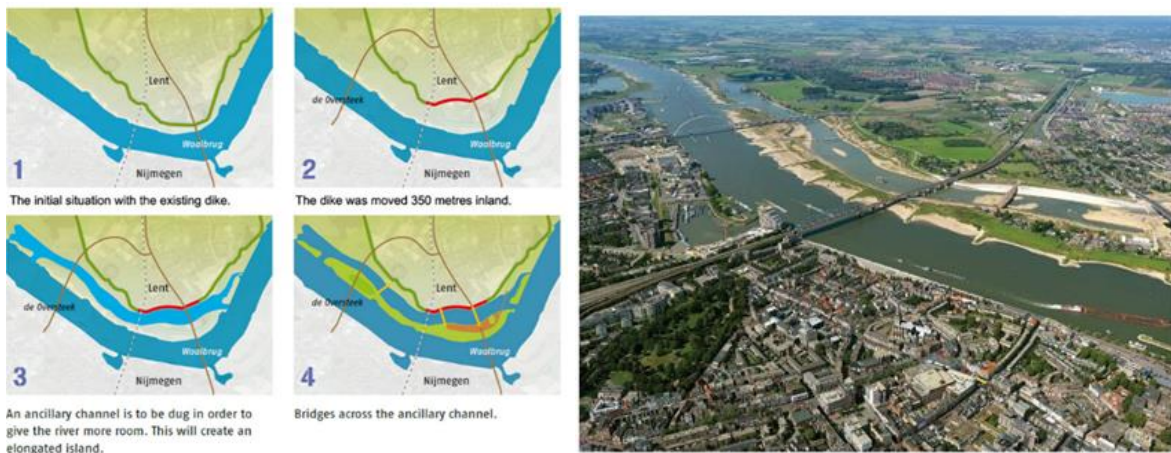
A mentesített ártér újbóli elárasztásával a főmeder fenék-csúsztatófeszültsége közepes mértékben csökken a középvízi hozamnál nagyobb vízhozamok esetén, a két terület közötti hordaléktranszport pedig megnövekszik. A beavatkozás hatására nő a vízvisszatartó képesség és jelentősen csökken az árvízcsúcs, ekképpen javítva az árvízi védekezést. Az ártér ökológiai állapota pedig jelentős mértékben fejlődik majd. A vízjárta terület kiterjedése nő, ami a vízhez alkalmazkodó gazdálkodási lehetőségeket is javítja (növénytermesztés, erdőgazdálkodás, rét és legelő hasznosítás terén). A hatások várhatóan hosszútávon jelentkeznek. Ez a beavatkozás típus egyelőre inkább kutatási fázisban van, ilyen célú alkalmazására és eredményeinek kiértékelésére valós eseteken keresztül nem sokszor került még sor. További hátrány, hogy alkalmazásakor fokozottan ügyelni kell arra, hogy a közeli, vagy az eredetileg mentesített ártéren épült infrastruktúra árvízi kockázata ne növekedjen. Az alábbi adatlapot a DanubeSediment projektben készítették (18. ábra).



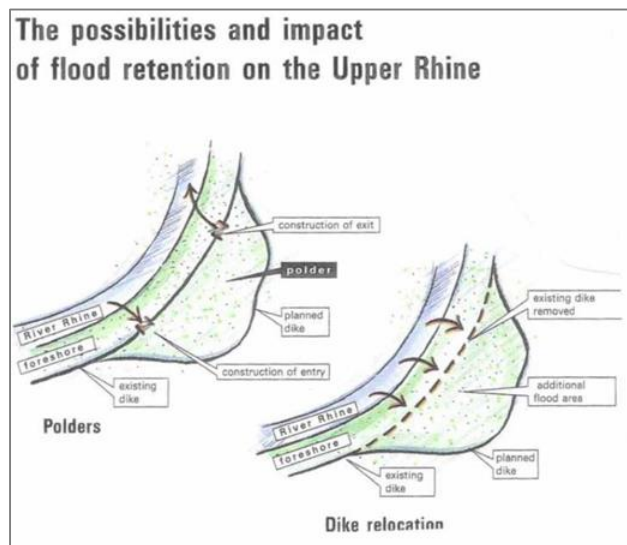
18. ábra Adatlap az árvízvédelmi gátak megnyitásáról (DanubeSediment projekt).

4.2.6 Árvízvédelmi gátak áthelyezése és visszabontása (hullámtér növelése)

A gátak folyótól való eltávolítása a hullámtér növekedésével jár, ami így a korábbi módszereknél már ismertett hidraulikai és hidromorfológiai okok miatt a főmeder mélyülésének közepes mértékű mérséklődését (hosszútávon jelentkezik), valamint középvíznél nagyobb vízszintjeinek jelentős csökkenését vonja maga után. Ugyanakkor a hullámtéren kialakuló vízmélységek is kisebbek lesznek a terület növekedésével, ami lehetővé teszi a kisebb méretű gátak biztonságos tervezését is. Az ökológiai potenciál javul és a vízhez kötődő gazdálkodási gyakorlatok lehetőségei is megváltoznak. A vízjárta terület kiterjedése nő, ami a vízhez alkalmazkodó gazdálkodási lehetőségeket is javítja (növénytermesztés, erdőgazdálkodás, rét és legelő hasznosítás terén). A beavatkozás külföldön jól ismert (19. ábra, 20. ábra), eredményei dokumentáltak és hazai példát is találunk a Tiszára (https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=laymanReport&fil=LIFE03_ENV_H_000280_LAYMAN.pdf). A módszer csak olyan területeken alkalmazható, ahol az áthelyezésre rendelkezésre áll terület (igen helyigényes). Mindemellett a területeknek infrastruktúrától mentesnek is kell lenniük, a szomszédos beépített területek árvízi kockázata pedig nem növekedhet.



19. ábra A gátak áthelyezésének terve (felül) és a munkálatok 2016-os állása (alul) a Waal folyón, Hollandiában.



20. ábra Sematikus ábra a gátak megnyitásáról (bal) és gátak áthelyezéséről (jobb) a Rajna folyón.

Jó példák megvalósult beavatkozásokra és részletes esettanulmányok, angol nyelven itt találhatóak:

- http://www.hnsland.nl/media/filer_public/c9/3c/c93cd248-1522-4e4c-9c04-5e1f68485dfe/lam_06jun2016_roomforriver-spreads12.pdf
- <http://www.zinke.at/Japansymp.htm>
- <https://www.ufz.de/index.php?en=40390>

4.2.7 Korábbi lápok, mocsarak, vizenyős területek visszaállítása

Az eddig felsorolt módszerek közül többel is átfedésben van. Olyan területeken alkalmazható, ahol korábban köztudottan mocsaras, lápos területek voltak találhatóak, de az árvízi védekezés és folyószabályozás, vagy akár természetes folyamatok következtében ezek elvesztek. A módszer lényege az árvízvédelmi gátak megnyitásával, eltávolításával, vagy hullámtéri területen, természetes leválasztódás (hordaléklerakódás) esetén földmunkával történő újbóli elárasztás. A megnövelt terület *kis mértékben*, de tehermentesíti a főmedret és mérsékeli annak mélyülését, valamint hordalékutánpótlást is biztosít. Ökológiai szempontból a lápos terület visszaállítása igen kedvező hatásokkal bír. További előny, hogy a vízjárta területek kiterjedése és ezzel együtt a vízmegtartási kapacitás is nő. A főmeder vízszintjeit csak kismértékben befolyásolja. Hatásai hosszú távon érvényesülnek. Sokfelé jól ismert és alkalmazott eljárás (21. ábra és 22. ábra). Hátránya az árvízvédelmi gát megnyitások, áthelyezések, lebontások esetében felmerülő árvízi kockázat és annak kezelése. Azonban, ha a hullámtéren, a természetes leválasztódás megszüntetésével történik a visszacsatolás, különösebb hátránya nem ismert.



21. ábra Visszaállított láp (USA).



22. ábra Visszaállítás folyamata (Kortright Farm, Ontario, USA).

Jó példák megvalósult beavatkozásokra és részletes esettanulmányok, angol nyelven itt találhatóak:

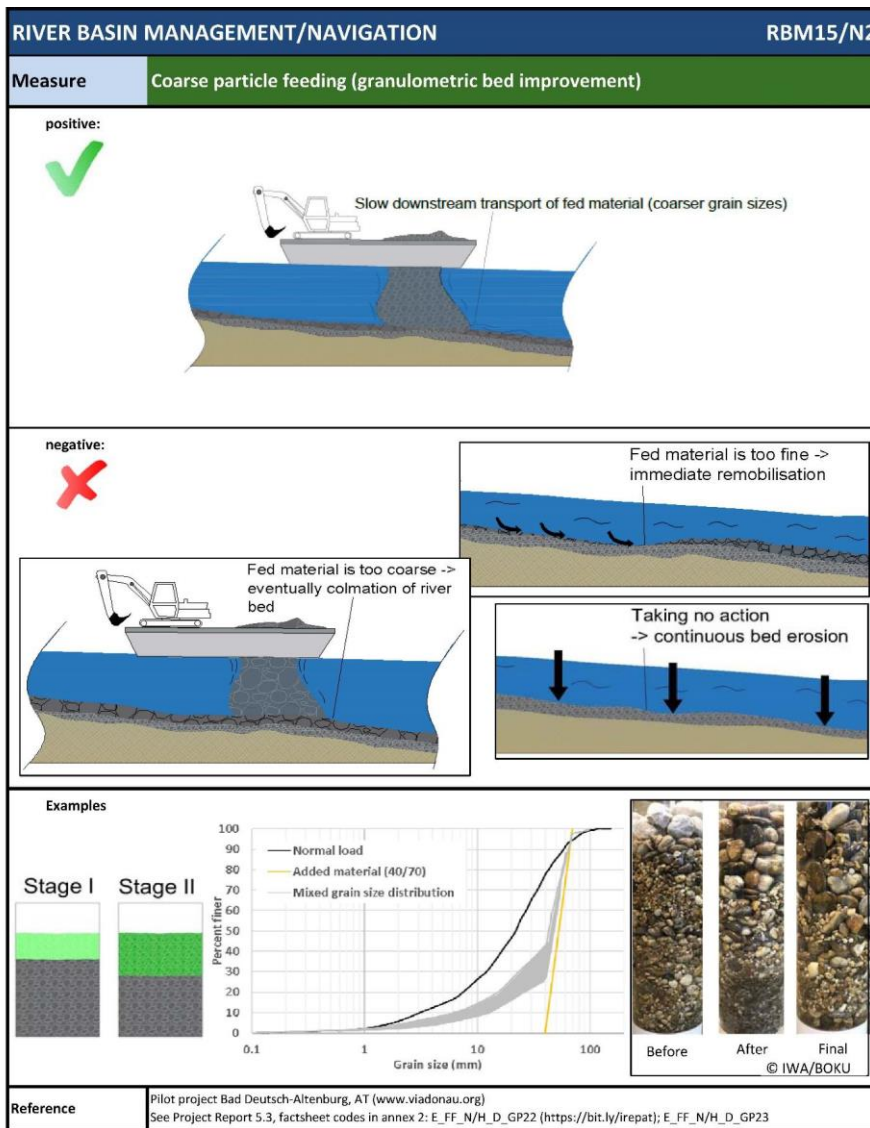
- <http://wetlandsrestoration.org/>
- <https://trca.ca/conservation/restoration/wetlands/>
- <https://www.epa.gov/wetlands/principles-wetland-restoration>
- <https://www.nps.gov/subjects/wetlands/restoring-wetlands.htm>

4.2.8 Meder beborítása durva összetételű mederanyaggal (közvetlen beavatkozás a meder szemösszetételébe)

A *kavics medrű* szakaszokon szóba jöhet egy durvább szemösszetételű frakció mederre történő deponálása és elterítése (egyfajta páncélozása). A jellemző szemcseméret növelésével a kritikus fenék csúsztatófeszültség is nőni fog, így a medermélyülés és hordalékelszállítás *jelentős mértékben* mérsékelhető. Hatása hosszú távon érvényesül.

A meder a beavatkozás hatására érdekesebb lesz, így minimálisan, de nőni fog a vízszint, ami leginkább kisvíz idején lesz érzékelhető. Kis mértékben az élővilágot is befolyásolni fogja, helyenként megzavarhatja a beállt állapotokat. A beavatkozás előkészítése igen munkaigényes. Érdemes hidrodinamikai numerikus és/vagy kisminta modellekkel vizsgálatokat végezni előtte, meg kell ismerni a jelenlegi mederanyag és görgetett hordalék szemeloszlását (hagyományos mintavételezéssel, mederkamerázással, rádiós nyomkövetéssel), számításokat végezni a csúsztatófeszültségekre vonatkozóan, valamint felmérni az élővilág (halak, makrogerinctelenek) mederanyagra vonatkozó igényeit, a medergeometriát (MultiBeam Echosounder), talajvízzel való kapcsolatát, de még a kolmatáció (lebegtetett hordalék

figyelembevételével) veszélyét is. A kivitelezés alatt is monitoring rendszert kell fenntartani, hogy a hatások nyomon követhetőek legyenek (hordalékmérések, fagyasztásos mederminták, medergeometriai mérések, rádiós nyomkövetés). A monitoringot kivitelezés után is fenn kell tartani a kivitelezés előtti (abiotikus és biotikus) terepi mérések folytatásával. A módszer jelenleg, nemzetközi szinten teszt üzemben van, egy-két helyen került még csak alkalmazásra (24. ábra). Egy ilyen mintaterület a Duna folyó Bécestől keletre fekvő szakasza, ahol egy kb. 120.000 m³ térfogatú, 25 cm vastag kavicsréteget adtak hozzá egy kb. 2,5 km hosszú szakaszhoz. Az eddigi tapasztalatok alapján nagyobb volt a medermozgás, mint ahogy azt előre meg tudták mondani. A választott hozzáadandó mederanyag szemeloszlására igen érzékeny a módszer. Ha az alkalmazott anyag túl durva, a meder kolmatálódhat. Ha pedig túl finom, akkor lényegében azonnal át fog rendeződni és elvándorolni az elhelyezés után. A lehelyezés utáni, mederfelszín alatti rétegekkel történő átkeverés javító hatást mutatott. A számítások és tesztek alapján szükséges szemeloszlású mederanyag beszerzése és helyszínre szállítása nehézségekbe ütközhet, akár igen költséges is lehet.



24. ábra Adatlap a mederanyag összetételének mesterséges durvításáról (DanubeSediment projekt).

4.2.9 Kialakult mederpáncél megbontása

A kolmatálódott és páncélozódott mederszakaszok eltávolításával visszaáll a folytonosság a hordalék frakciók között (nem lesznek hiányzó mérettartományok, „platós” szemeloszlások). A beavatkozást bizonyos időközönként meg kell ismételni. Az eltávolítás történhet kotrással, vagy mesterséges árhullám keltésével. A megbontott területek képesek visszacsatlakozni a hordalékháztartásba, ily módon biztosítják a meder mélyülésének mérséklését. A mederben kialakuló vízszintek csökkenni fognak. Közepes mértékben a meder ökológiai állapotát is javítja. A folyómeder és a talajvíz közötti kapcsolat is javul a kérdéses szakaszok megszüntetésével. Az eljárás közismert, külföldön gyakran alkalmazott (25. ábra). Rövid távú megoldásnak számít. Azonban, ha nem áll rendelkezésre elég görgetett hordalék és nem biztosított az utánpótlás, akkor hordalék mesterséges bevezetésével, hozzáadásával kell a hiányt megszüntetni.

RIVER BASIN MANAGEMENT		RBM16
Measure	Break-up of bed armouring (artificial flood or mechanical)	
positive:	Break-up of bed armouring helps to remobilise consolidated sediments.	
	<p>The diagram shows a cross-section of a river with a weir on the left. On the right, a mechanical dredger is shown breaking up the bed armour. The riverbed is depicted with green vegetation on the banks and a blue river channel.</p>	
negative:	<p>The diagram shows a cross-section of a river with a weir on the left. The riverbed is depicted as a solid grey area, indicating a paved river bed. The river channel is blue, and the banks are green with vegetation. A large grey area in the middle of the river indicates colmation.</p>	
Examples	<p>The photograph shows a long, narrow weir structure extending across a river. The river is dark green, and the surrounding area is lush with green vegetation. The weir has several small structures along its length.</p>	
Reference	Break-up of bed armouring downstream of the HPP Melje at the Drau River (http://www.dem.si) See Project Report 5.3, factsheet code in annex 2: S_FF_D_T_GP45, S_FF_D_T_GP46	

25. ábra Adatlap a mederpáncél mesterséges megbontásáról (DanubeSediment projekt).

Jó példák megvalósult beavatkozásokra és részletes esettanulmányok, labor eredmények, angol nyelven itt találhatóak:

- http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/38/f956e34d78a1109a7abfbb40922bbe9b12d14eb3.pdf
- <https://cpb-ap-se2.wpmucdn.com/blogs.auckland.ac.nz/dist/7/206/files/2018/08/c026-18q8d7a.pdf>

4.2.10 „Okos” kotrás és hordalék-visszatáplálás

A módszer egyszerre szolgálja a hajóutak karbantartását és a meder mélyülésének megállítását. A sekély részeken kikotort mederanyagot a felvízen megfelelő módon és helyen visszaszórva egyaránt pótoljuk a folyó hordalékát, így csökkentve a meder erózióját, és a hajók számára szükséges mélységet is fenntartjuk. Lényege a hordalék rendszerben tartása. *Kavics medrű* szakaszokon alkalmazandó. Középtávon érvényesülnek hatásai és egy ismétlődő, (medererózió megállítása szempontjából) közepesen hatékony beavatkozás. Hordalékcsapdák beépítésével, vagy külső durva hordalék hozzáadásával a kikotort mennyiség kiegészíthető, így ezek megfontolása javasolt. A vízszinteket mérsékelten növeli. Sok helyen ismert és alkalmazott módszer (26. ábra). Hátrány, hogy az eljárás igen költséges (kotrás és szállítás). Az ökológiai viszonyokat helyileg megzavarhatja (pl. ívás helyén, vagy idején történő kotrás), de az alvízen javítja az ökológiai állapotot a medersüllyedés mérséklésével. Túl sok, vagy túl durva összetételű anyag visszatáplálása növelheti az árvízi kockázatot. Ha pedig túl finom szemcséjű a visszatáplált hordalék, akkor lehetséges, hogy nem érünk el pozitív eredményt, hisz a folyó egyszerűen kiviszi a rendszerből. Hordalékcsapdák esetén azok helyét és módját pontosan meg kell tervezni. A kotrás során pedig kerülni kell a túlzott kitermelést annak érdekében, hogy ne érzük el az érzékenyebb geológiai, vagy finomabb szemcséjű rétegeket, ne törjük át a medret. Figyelembe kell venni az alvízen kifejtett hatásokat is (pl. lehetséges hordalék hiány).

Alkalmazzák vízlépcsők környezetében is, a vízlépcső duzzasztott terében lerakódott hordalék kotrásával és az alvízi, erózióknak kitett szakaszokon való visszatermeléssel. Németországban az Isar folyó középső szakaszán végeznek például ilyen munkákat, a Dunán pedig pl. Ausztriában, a Béctől keletre fekvő szakaszon. Utóbbi területen ún. görgetett hordalékcsapdákat alakítottak ki, onnan kotorják ki bizonyos időszakonként a hordalékot és felvízi irányba, kb. 20 km-rel távolabb helyezik vissza olyan szakaszokon, ahol mély, erózióra hajlamos helyek találhatóak. 2017-ben a Duna itteni szakaszán kb. 80.000 m³ kavicsot kotortak ki és termeltek vissza.



Figure 13: Dredging and feeding (photos: ©IWA/BOKU).

26. ábra Hordalék-visszatáplálás és kotrás az osztrák Dunán.

Jó példák megvalósult beavatkozásokra és részletes esettanulmányok, angol nyelven itt találhatóak:

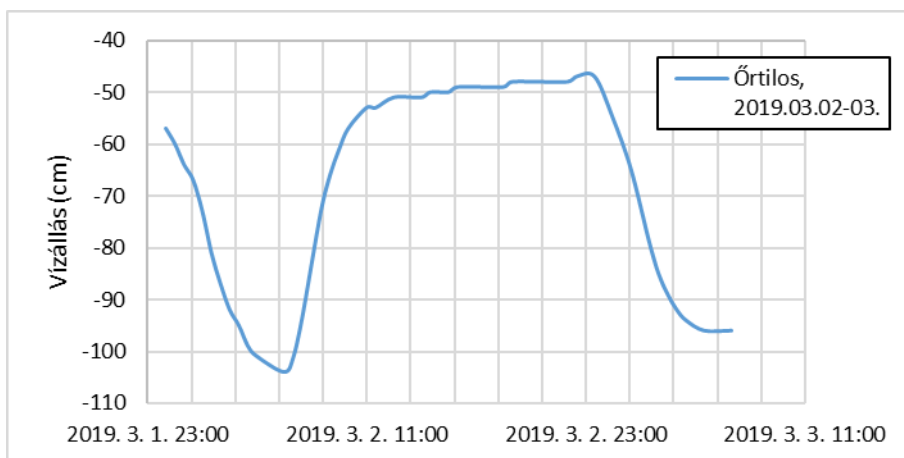
- http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/39/ee566924f1764d4798dc7bb9b59537ce84d98101.pdf

5 Beavatkozási lehetőségek a Dráva mentén

Ebben a fejezetben javaslatokat teszünk olyan vizsgálatokra és beavatkozás típusokra, amelyek a kapcsolódó, mederváltozás okait feltáró tanulmány és a korábbiakban bemutatott beavatkozási módszerek alapján a Dráva vizsgált szakaszán kedvező irányba változtathatja meg a folyó alakváltozási folyamatait. Egy alfejezet erejéig áttekintést adunk a vízerőművek csúcsra járatásának lehetséges hatásairól és annak mérséklési lehetőségeiről, majd felváz felől alvízi irányban haladva, szakaszolva teszünk javaslatot különböző beavatkozásokra. A szakaszolás során a Drávát 3 részre osztottuk, melyek felülről lefelé haladva a következők: 236,0 fkm – 154,10 fkm; 154,10 fkm – 77,7 fkm; 77,7 fkm – 0,0 fkm. A kiosztást a folyó eltérő jellegzetességei indokolták. A felső szakaszon leginkább az ipari kotrások és az üzembe helyezett vízlépcsők eredményezték az intenzív mederváltozást, folyószabályozási munkák pedig alig történtek. Esése nagyobb, mederanyaga jellemzően durvább, mint a következő két szakaszé. A középső szakasz kisebb esésű, szabályozott és homokmedrű. Az alsó szakaszon pedig a Duna közelsége befolyásolja az áramlási és mederváltozási folyamatokat. Nagyon fontosnak tartjuk hangsúlyozni, hogy jelen feladat keretében, annak peremfeltételei miatt, pusztán koncepcionális javaslatokat tudunk megtenni. Ezeket a javaslatokat emiatt további megfontolásra szánjuk és a későbbiekben részletesen tárgyaljuk azt is, hogy milyen, a jelenleg elérhető legkorszerűbb vizsgálati módszereket tartunk érdemesnek bevetni tervezett beavatkozások jövőbeli hatásainak elemzésére.

5.1 Vízlépcsők csúcsra járatásának hatásai és azok mérséklésének lehetőségei

A Dráva közös magyar-horvát szakaszának felső része egyértelműen kitett a Horvátországban megépített vízlépcsők hatásának, amit a jelen munkához kapcsolódó első tanulmányban ki is mutattunk (lásd pl. az Őrtilosi vízmércén rögzített tipikus vízállás idősort - 27. ábra). Tekintettel arra, hogy a Donja Dubravai vízlépcső üzemeltetésénél alapvetően a csúcsra járatás eszközével élnek, kiemelten fontosnak tartjuk annak áttekintését, hogy jelenleg a témával foglalkozó tudomány milyen tudással és eszközökkel rendelkezik az ilyen folyószakaszok ökológiai célú hatáselemzésével kapcsolatban. Ennek érdekében a következőkben Greimel et al. (2018) osztrák kutatók közelmúltban publikált összefoglaló munkájának eredményeit mutatjuk be.



27. ábra Tipikus napi vízszint-ingadozás az Őrtilosi vízmérce adatai alapján 2019 márciusában (Burián és Domány 2019 alapján saját szerkesztés)

5.1.1 Bevezető

Folyók esetén a vizes élőhelyek milyenségét és minőségét elsősorban az áramlási viszonyok határozzák meg, így a hidromorfológiai viszonyok komplexitása determinálja az adott folyó(szakasz) ökológiai sokszínűségét is. Az áramlási viszonyok időbeli változékonyságának, fluktuációjának fontos szerepe van a fajok túlélési és szaporodási potenciáljában. Ez a legtöbb faj esetén különböző evolúciós stratégiák kialakulásában figyelhető meg, melyek segítségével adaptálódtak a vízfolyások természetes vízjárásaihoz. A fajok ilyen jellegű igazodása azonban még a természetes vízhozam fluktuációk kivédésére sem minden esetben elegendő, extrém, vagy az adott évszakban nem megszokott események is számos káros következménnyel járhatnak (pl. egyedek partra vetése (stranding), elsodrás, alacsony szaporulat stb.).

Az emberi beavatkozások hatására a természetes vízhozam fluktuációk mellett (árhullámok) az antropogén hatások is egyre inkább megjelentek – a vízenergia hasznosításra használt folyók/folyószakaszok esetén tipikusan ilyen az erőművek csúcsra járatásából adódó, erősen kontrollált vízjárás. Nagy esésű vízerőművek esetén a csúcsra járatás nagy vízhozam és így sebesség ingadozásokat eredményez, melyhez képest az egyéb mesterséges, vagy természetes forrásból eredő változékonyság szinte elhanyagolható. Azonban az ilyen kisebb emberi beavatkozások (pl. vízhozam szabályozó műtárgyak, szivattyúzás stb.) okozta mérsékelt hatások sem hagyhatók figyelmen kívül.

A természetestől eltérő dinamikus napon belüli ingadozások miatt a problémakör tudományos megközelítése szükséges, mind az általános üzemeltetés, mind az EU Víz Keretirányelvben megfogalmazott célok elérése érdekében. Az ökológiai hatások becslése és előrejelzése érdekében integrált koncepcionális modellekre van szükség. Egy ilyen prediktív keretrendszer alapjaként olyan számszerű értékelésre alkalmas matematikai leírások, terepi és/vagy laboratóriumi mérések szükségesek, melyek figyelembe veszik az áramlási, hőmérsékleti és élőhely viszonyokat, továbbá faji szinten a különböző életszakaszok igényeit, míg folyó/folyószakasz szinten a populáció dinamikát is.

5.1.2 Vízhozam fluktuációk detektálása és jellemzése

A folyók hidrológiai jellemzésének egyik legalapvetőbb eleme a vízhozam sorok vizsgálata, így a csúcsra járatás milyenségének általános jellemzése is ez alapján lehetséges. A hivatkozott tanulmány (Greimel et al., 2018) szerzői kidolgoztak egy módszert, mellyel a vízhozamok egyszerű idősor alapú elemzése alapján van lehetőség a csúcsra járatáshoz köthető felszálló és leszálló ágak automatizált detektálására. Az emelkedő és csökkenő vízhozamok megkülönböztetése többek közt azok eltérő ökológiai vonatkozása miatt érdemel külön figyelmet (pl. elsodrás (drifting) és partra vetés (stranding)). Az eljárás elsősorban az idősorok idő szerinti deriváltja (meredekség) alapján számít különböző esemény alapú jellemzőket pl.: maximális fajlagos hozamnövekedés [m^3/s^2], maximális amplitúdó, csúcsemény időtartama stb. A kidolgozott eljárás a csúcsra járatás mértékét és milyenségét (intenzitás/időtartam/frekvencia) illetően biztosít egy standard módszertant, mellyel akár különböző folyórendszereken működő erőmű üzemeltetési rendek is jól összevethetővé válnak.

Összességében tehát elmondható, hogy folyók esetén a legalapvetőbb hidrológiai információnak számító vízhozam/vízállás idősor stabil tudományos alapot képes biztosítani a hatások vizsgálatára, ahol is tehát a változások, illetve a változékonyság mértéke a kulcs. A felfuttatás sebessége (vízszint/vízhozam változás egységnyi idő alatt, pl. [cm/min]) alapján

például becsülhető különböző élőlények szárazra kerülésnek veszélye egy turbina leállítását követő vízszint csökkenés során. Az alap- és csúcshozam esetén kialakuló áramlási sebességek az élőhelyek minőségének elsődleges meghatározói, pl. a halivadékok a part menti, kis áramlási sebességű (sekély) területeket preferálják. Az áramlási sebességhez hasonlóan – és azzal szoros kapcsolatban – a fenék-csúsztatófeszültségnek is meghatározó szerepe van a hordaléktranszportban és így az élőhelyek térbeli és időbeli változásában is. A hordaléktranszport szerepe nemcsak a csúcsvízhozamok közt kialakuló extrém körülmények közt fontos, a folyó hordalékdinamikai potenciálja középvízi állapotban is jelentős. Ezek mellett nem elhanyagolható, sőt, kiemelendő a csúcsra járatásos üzem magára a folyómederre gyakorolt hatása. Az erőművi üzemeltetés kedvezőtlen hatásait mérséklő beavatkozások tervezésénél kiemelt hangsúlyt kell fektetni a helyi hordalékdinamikai viszonyok feltárára, nem csak lokális, de vízgyűjtő léptékben is, ugyanis egy-egy beavatkozás fenntarthatóságában ez kulcsszerepet játszik. A következőkben a csúcsra járatás néhány jelentősebb hatása kerül részletesebben ismertetésre.

5.1.3 Csúcsra járatás hatása a vízi élővilágra

A csúcsra járatáshoz köthető vízhozam ingadozások markáns rövid- és hosszútávú hatásokkal lehetnek a vízben élő organizmusokra. A megnövekedett áramlási sebességek és fenék-csúsztatófeszültségek hatására a bentikus élőlények lemosódhatnak a mederanyagról, a vízben úszó élőlényeknek pedig nem fenntarthatóan sok energiájukba kerülhet, hogy ellenálljanak az áramlásoknak, hogy elkerüljék a nem kívánt, alvízi irányba való elmozdulásukat. Az ilyen nem szándékos elsodródás (drift) során az érintett élőlények gyakran rosszabb minőségű élőhelyekre kerülnek, illetve egyéb fiziológiai, mechanikai és ragadozó stressz is megjelenhet. A megnövekedett görgetett hordaléktranszport továbbá a szaporulat csökkenését is okozhatja. A biomassza és egyedsűrűség csökkenésén túlmenően a napi szintű sebesség és vízhőmérséklet-ingadozások negatív hatással vannak a növekedésre, szaporulatra, túlélési esélyekre, valamint összességében a bióta állapotára.

5.1.3.1 Áramlási sebesség, csúsztatófeszültség és hordalék transzport

A megnövekedett áramlási sebességek és csúsztatófeszültségek hatására fokozódik mind a lebegtetett, mind a görgetett hordaléktranszport, melyek komoly káros hatásokkal lehetnek a csúcsra járatással érintett folyószakaszok ökoszisztémájára.

A bentikus algák esetén például már 10-15 cm/s-os áramlási sebességek is az egyedszám és így a fotoszintézis csökkenéséhez is vezethetnek. A bentikus élőlények áramlással szembeni ellenállóképessége nagy változékonyságot mutat, így akár csak a szakaszosan megjelenő nagy áramlási sebességek is a biodiverzitás csökkenését okozhatják.

A csúcsra járatással érintett szakaszokat jellemzően lecsökkent makrogerinctelen biomassza, valamint közösség komplexitás jellemzi. Az egyes fajok ellenállóképességét azok morfológiai jellemzői, valamint anatómiájuk (pl. karmok megléte/mérete) határozzák meg, továbbá nagy változékonyság figyelhető meg a különböző életszakaszok között is – a legtöbb faj lárvá állapotban a leginkább kitett az áramlásoknak. Ez kifejezetten igaz halivadékok esetére is, melyeket nemcsak az áramlási sebességek, de a vízmélységek gyors változása is erősen érint. A halak ezen életszakaszukban a sekély vizű és kis áramlási sebességű élőhelyeket preferálják, így a csúcsra járatáshoz köthető napi szintű intenzív változásoknak ők különösen kitettek. A kifejlett egyedekhez képest az ivadékok még jóval kisebb úszási képességgel bírnak, így a nagy

áramlási sebességek hatására könnyen elsodródhatnak. A korosztályokon kívül természetesen a halak esetén is megfigyelhető fajok közötti jelentős eltérések is az úszási képességekben, sőt kutatók kimutatták, hogy a folyamatosan ismétlődő vízhozam ingadozások esetén egyes fajok esetén növekvő adaptív ellenálló képesség is megfigyelhető.

A vízlépcső üzemeltetés jelentős hatással van továbbá a folyó lebegtetett hordalék háztartására is (extrém eset: tározóöblítés), ami a korábban említett abiotikus hatásokhoz hasonlóan legyűri az élőlények szintjére is. Míg kis mennyiségű lebegtetett hordalék, illetve annak kiülepedése javíthatja a durvább szemcsékből álló mederanyag élőhely szempontú komplexitását, úgy a túlzott kiülepedés a pórások eltömődését, valamint a bentikus élőhelyek csökkenését vonhatja maga után.

5.1.3.2 Felfuttatás sebessége

A felfuttatás sebessége megmutatja, hogy milyen mértékben változik az alvízi vízszint egy-egy csúcsesemény alatt, mely bizonyítottan szoros kapcsolatban áll a folyami organizmusok válaszreakcióival. A fokozatos (természetes) vízszint/vízhozam növekedésekkel ellentétben, ilyenkor jelentősen rövidebb idő áll rendelkezésre az élőlényeknek, hogy menedéket találjanak, így nagyobb elsodrás ráta is várható (pl. makrogerinctelenek esetén). Az ehhez köthető kedvezőtlen hatások – a korábbiakhoz hasonló módon – kor és fajspecifikusak, azonban ezek az ökoszisztémák sokszor sérülékenyek, így egy-egy faj visszaszorulása is komoly következményekkel járhat.

A halak esetén a vízhozam csökkentésének sebessége bír nagyobb jelentőséggel. A vízszintek gyors csökkenése következtében a partközeli területek gyorsan szárazra kerülhetnek, ami az élőhelyek ideiglenes eltűnését jelenti, továbbá számos faj nem képes a partél visszahúzódásának sebességével lépést tartani, így azok is szárazra kerülhetnek. Az ilyen partra vetődés (stranding) mértéke szezonálisan és napszakonként is változó lehet.

5.1.3.3 Csúcsra járatás frekvenciája, periodicitása és időzítése

A csúcsra járatás frekvenciája, periodicitása valamint időzítése kulcsfontosságú amikor a hatásokat mérséklő beavatkozások fogalmazzunk meg. Mivel már egy csúcsesemény is hatással lehet a vízi ökoszisztémára, a folyamatos csúcsra járatás esetén ezek kumulatív hatása már komoly gondokat jelenthet. A halak adaptációs képessége ennek némileg ellentmond: Friedl és Naesby (2014) kísérletei kimutatták, hogy 21 napon keresztül tartó napi három eseményes csúcsra járatás esetén a halak partra vetődése csak az első kilenc napban volt észlelhető. Azonban ha egy csúcseseményt megelőző 24 órában stabil áramlási viszonyok uralkodtak, ez az adaptáció megszűnt. Tehát a vizsgált halfaj (pénzes pér) rövid távon és korlátozott mértékben képes adaptálódni a csúcsra járatáshoz. Részletes vizsgálatok hiányában azonban ezen eredmények alapján általánosítani nem lehet.

A csúcsesemények időpontja szintén igen fontos, ugyanis a vízi élőlények napon belüli viselkedése nagy változékonyságot mutat. Kutatások kimutatták, hogy a makrogerinctelenek elsodródási aránya megnő éjszaka, amikor a legaktívabban táplálkoznak. Hasonló trend figyelhető meg a pénzes pér és az atlanti lazac esetén is, míg más kutatók a téli időszakban a nappali események során figyeltek meg nagyobb mértékű partra vetődéseket. Összességében tehát elmondható, hogy a napi és szezonális változékonyság meghatározza a káros hatások mértékét, melyek azonban faj specifikusak is, így a teljes általánosítás nem lehetséges.

5.1.3.4 Medermorfológia

A csúcsra járatás ökológiai hatásának mértéke nagyban függ a folyóban lezajló hidrológiai-hidromorfológiai kölcsönhatásoktól, ugyanis az élőhelyek eloszlása, minősége és változékonysága a kulcs a biodiverzitáshoz. A hegyvidéki folyók morfológiája általában erősen módosítottak a különböző célú emberi beavatkozások által; tipikusak a partvédő művek, valamint a vízszállítóképesség növelését célzó mederrendezések, melyek jelentősen csökkentik a hidromorfológiai és így az ökológiai változékonyságot. A makrogerincteleneken túl számos reofil halfaj is az alacsony áramlási sebességekkel jellemezhető élőhelyeket preferálja a gyengébb úszási képességeik miatt.

5.1.3.5 Vízhőmérséklet

A tározók felszíni vízhőmérsékletei jóval kitettebbek az évszakos változásoknak, mint a mélyebb vízrétegek. Az alsó rétegek átengedése az erőműveken az alvízi oldalon télen a hőmérséklet emelkedést, míg nyáron csökkenést eredményez. A csúcsra járatásból eredő hőmérséklet impulzusok további stresszorként jelentkeznek a vizes élőlények számára. Céréghino és Lavandier (1998) kimutatta, hogy a csúcsra járatással járó hőmérséklet ingadozások hatással vannak a makrogerinctelenek növekedésére, mozgására, valamint előfordulási mintázataikra is. Míg egyes kutatók szerint a hőmérsékletváltozások iránytól (hideg/meleg) függetlenül növelik az elsodrési rátákat, úgy más eredmények arra utalnak, hogy a hidegebb víz érkezése – ha ugyan csak faj specifikusan is – de csökkenti az elsodródás mértékét. A jelenség mögött álló mechanizmusok még tisztázatlanok. A csúcsra járatás hatásai a halak esetén is függenek a hirtelen hőmérsékletváltozásoktól, mind napi, mind szezonális skálán. Különböző halfajok esetén más-más válaszreakciókat tapasztaltak a kutatók.

5.1.4 Hatások tudományos alapú mérséklése

5.1.4.1 A csúcsra járatás hatásait potenciálisan mérséklő beavatkozások

A csúcsra járatás közvetlen hatása alapvetően hidrológiai jellegű. Az ökológiai hatások szorosan kapcsolódnak a folyók hidromorfológiai állapotához, vagyis az élőlényekre gyakorolt hatások a már módosított folyószabályozások, a megzavart hordalékegyensúly és az üzemeltetésből adódó vízhozam fluktuációk együttes hatásából tevődnek össze. Következésképpen, a hatásokat mérséklő intézkedések két csoportba sorolhatók: a közvetlen és a közvetett beavatkozásokba. Közvetlen intézkedés például az erőmű üzemeltetési rendjének változtatása mely az ökológiai állapot javítása mellett gazdasági profitkiesést is jelenthet. Szintén közvetlen beavatkozás a csúcscsökkentő tározók építése, mely célja a gyors vízhozamváltozások simítása, valamint a vízhozamcsúcsok csökkentése. Ezek a beavatkozások általában jelentős építési költségekkel járnak. Ez igaz azonban az indirekt beavatkozásokra is, melyek során például a meder szélesítésével, mellékágak visszacsatolásával lehet mérsékelni a hatásokat, a vízszint ingadozások közvetett csillapításán keresztül. A direkt és indirekt megközelítések külön-külön is alkalmasak a negatív hatások mérséklésére, azonban a legjobb eredményeket a két csoport elemeinek változatos keverésével lehet elérni. Fontos a helyszín specifikus és integratív tervezés, melyben kulcs szerepet játszik a lokális hordalékdinamikai viszonyok feltárása.

A beavatkozások ökológiai és társadalomgazdasági komplexitása számszerű és esetspecifikus megközelítést tesz szükségessé. Bruder et al. (2016) egy olyan keretrendszerrel dolgozott ki a legfrissebb tudományos eredményekre alapozva, mellyel Svájcban jelenleg is futó, a csúcsra

járatás hatásait mérséklő beavatkozások hatásai válnak vizsgálhatóvá. Mindazonáltal széles körben elfogadott és elterjedt módszertan a mai napig annak ellenére sincs, hogy a menedzsment felől már évtizedek óta komoly igény lenne erre.

5.1.4.2 Integrált mérséklő beavatkozások és vizsgálati módszertan

A fent említett svájci keretrendszert alapul véve, egy integratív, a csúcsra járatás hatásait mérséklő menedzsment koncepciója került kidolgozásra Ausztriában is. Az integratív megközelítés a következő szempontok figyelembevételét követeli meg: (a) vízi élőlények sérülékenysége; (b) mesterséges vízhozamfluktuációk frekvenciája, intenzitása és időzítése; (c) élőhelyek elérhetősége és minősége; (d) a hidrológiai és hidromorfológiai hatások térbeli változékonysága (Hauer et al. 2014).

Általánosságban kijelenthető, hogy a csúcsra járatás hidrológiai és ökológiai hatásai alvízi irányban távolodva mérséklődnek, főként a morfológiai változékonyság visszatartó hatásai miatt. A tanulmány szerzői kidolgoztak egy eljárást, amivel a hatások hosszirányú változékonysága számszerűsíthetővé és összevethetővé válik. A módszer alkalmazásához vízhozam mérőállomások sorozata szükséges. A mérési adatok alapján feltárhatók a szűk keresztmetszetek és problémás szakaszok, valamint a módszer lehetőséget biztosít az esetleges intézkedések kedvező hatásának számszerű kimutatására is.

5.1.5 Összefoglalás és kitekintés

Az elérhető tudományos ismeretek lehetőséget biztosítanak alapvető konceptuális modellek fejlesztésére, hogy a csúcsra járatás, valamint az esetleges mérséklő intézkedések hatásait számszerűsíteni tudjuk. Ehhez a hidrológiai, morfológiai, hordalékháztartási, hidraulikai és nem utolsósorban ökológiai aspektusok hatékony összekapcsolása szükséges.

Mivel a csúcsra járatás hatásai az eróműtől alvízi irányba távolodva mérséklődnek, fontos a hosszirányú változékonyságokat is figyelembe vevő vizsgálati módszerek fejlesztése. Ez lehetőséget biztosít (a) az érintett (és érintetlen) szakaszok monitoringjára; (b) a laboratóriumi kísérleti eredmények valós környezetbe való átültetésére; (c) az intézkedési/beavatkozási tervek modellezésére. A hidrológiai folyamatok mellett fontos továbbá a hordalékdinamikai és morfológiai folyamatok számbavétele is, ezek ugyanis ökológiai szempontból kulcsfontosságúak.

Az érintett élőlényekkel (halak, makrogerinctelenek, perifiták stb.) kapcsolatos szükséges ökológiai tudás sok esetben már rendelkezésre áll. Általánosságban elmondható, hogy a csúcsra járatás csökkenti az élőhelyek minőségét és azok elérhetőségét, így csökkentett reprodukciós és túlélési rátákhoz, következésképpen pedig a biodiverzitás csökkenését okozzák. Az erómű üzemeltetés hatásai nem pusztán faj, de életkor specifikusak is, sőt kimutathatók évszakos és napos léptékű változékonyságok is. Fontos a fajokra nem, mint különálló csoportokra, hanem mint az ökoszisztéma egyes építőelemeire gondolni és figyelembe venni, hogy egy faj eltűnése is katasztrofális ökológiai károkhoz vezethet. Néhány a hatásokkal kapcsolatos határérték már megfogalmazásra került, amik alapján eldönthető, hogy a csúcsra járatás mértéke káros-e a vízi ökoszisztémára, ami egy fontos első lépés a hatások csökkentését célzó intézkedések tervezhetősége felé.

A hatások csökkentését célzó megfelelő és igazolt módszerek hiányában az alkalmazott konceptuális modellek kezdetlegesnek tekintendők. A már megvalósított intézkedések és

beavatkozások kiterjedt és fejlett monitoringja szükséges, hogy az így gyűjtött adatok támogathassák a jövőbeli beavatkozásokat, illetve azok tervezését. A csúcsra járatás ökológiai hatásai körül számos fel nem tárt terület van még, melyek további tudományos kutatásokért kiáltanak (pl. makrogerinctelenek partra vetődése, mederanyag eltömődése finom hordalékkal, bentikus algák stb.).

5.2 Felső szakasz (Mura-torkolat 236,0 fkm – Barcs 154,10 fkm) beavatkozási lehetőségei

A Dráva magyarországi felső szakaszán elsősorban az ipari kotrások és az üzembehelyezett vízlépcsők eredményezték a tapasztalt intenzív medersüllyedést. Folyószabályozás ezen a szakaszon a vízvári (187 fkm) kanyarulat átvágásán (1982) kívül alig történt. Az elvégzett mérések és számítások alapján azonban az elmúlt 10 évre már stabil állapotokat mutat a folyó medre, legalábbis függőleges értelemben, ami szerint egy újfajta egyensúlyi helyzet állt be (BME 2019, 2020). Adódik egy-két lokális jellegű kivétel is (pl. Mura-torkolat), de a süllyedés már ezeken a helyeken is töredéke a 10 évvel ezelőtti értékeknek. Ezek alapján a vízlépcsők, kotrások és az egy-két szabályozási beavatkozás hatása a folyó vertikális fejlődésére tehát elmúlni látszik. Ez az új dinamikus egyensúlyi állapot azonban már egy egységesebbé vált, egyágú, de még kanyargós medret jelent, szemben az eredeti (természetes) állapottal, ahol a nagyszámú sziget, széles meder és fonatosság volt jellemző. A kialakult, új egyensúlyi helyzetben horizontális mederfejlődés ugyanakkor szintén tetten érhető (Mura-torkolat, vízvári Öreg-kanyar). A fentieket figyelembe véve, ebben a fejezetben olyan javaslatokat mutatunk be, amelyek nem a jelenlegi állapot konzerválására, hanem inkább egy korábbi, természetesebb medermorfológiai állapotra törekszik, beavatkozások meghatározott területekhez rendelésével.

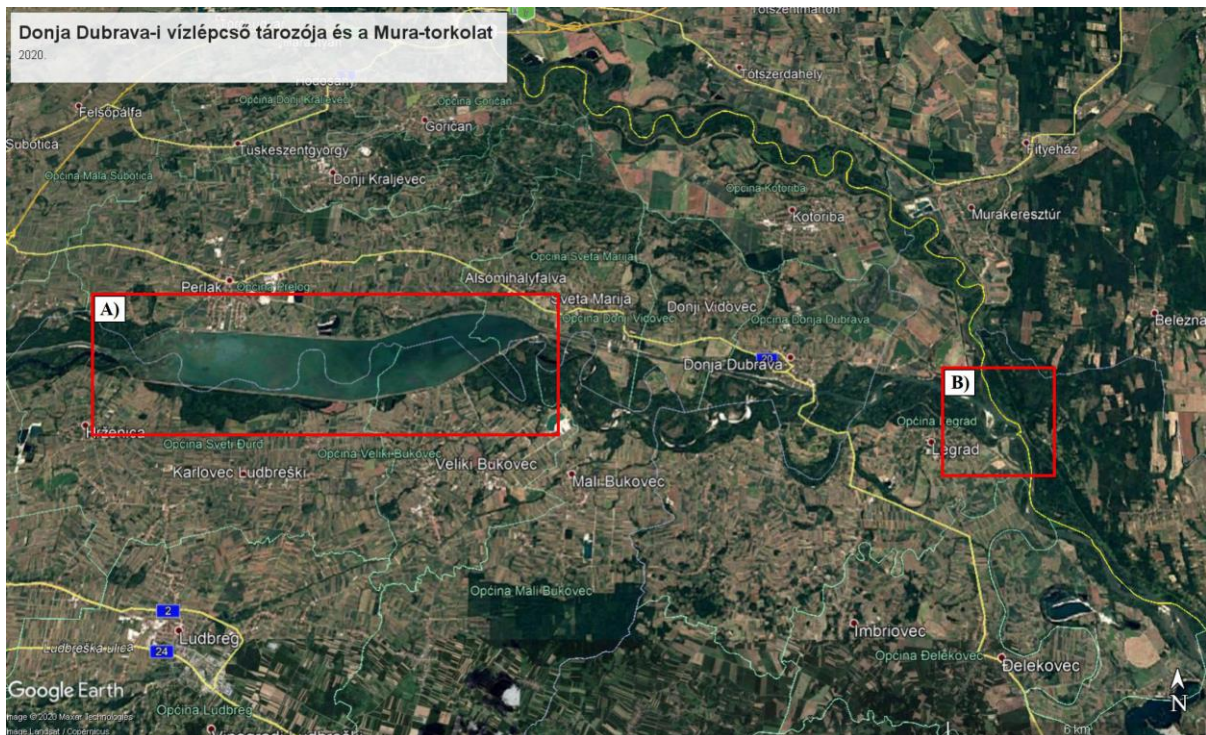
Fontos megjegyezni, hogy a bemutatott eljárások várható hatásait mindenképp szükséges kivitelezés előtt részletesebben megvizsgálni. E nélkül, nem garantálható a kívánt pozitív hatás elérése, mint ahogy a váratlan negatív következmények elkerülése sem. A jövőben érdemes vizsgálatot folytatni a vízlépcsők csúcsra járatásának hatására és a mederszakasz rétegzettség viszonyaira vonatkozólag, illetve numerikus modellezést végezni a beavatkozások következtében várható mederváltozásokra. Amennyiben beavatkozások megvalósítása várható, kiemelten fontos célirányos monitoring végrehajtása mind a beavatkozás előtti, alatti és utáni időszakban, amely nemcsak a hidromorfológiai jellemzők megfigyelésére terjed ki, de a releváns környezeti állapotváltozókra is.

5.2.1 Mura-torkolat 236,0 fkm

A Légrád (Órtilos) térségében a Dráva Mura-torkolat előtti szakaszán kialakult kettős kanyarulat dinamikusán fejlődik, melynek következtében a két folyó közti távolság, és a Mura torkolatának helye is gyorsan változik. A torkolat dinamikus alakulása számottevően kihat a Dráva alakjára, továbbá ez a szelvény helyezkedik el legközelebb az utolsó horvát vízlépcsőhöz, így annak hatása is itt érződik a legintenzívebben (BME, 2020). A Mura-torkolat feljebb vándorlása azonban az utóbbi években következett be, így az idősorok rövidege miatt egyelőre nem vizsgálható a Mura torkolati szakaszára jellemző mederváltozási folyamat, de javaslatok kijelölhetők megfontolásra, melyek leginkább a torkolat és a Donja Dubrava-i vízlépcső közötti rövid szakaszon történének.

5.2.1.1 Okos kotrás

A Donja Dubrava-i vízlépcső közelsége miatt érdemes lehet megfontolni a műtárgy felvizen felgyülemlt hordalék rendszeres kitermelését és az alvizen, a Mura-torkolatig terjedő szakaszon, történő kampányszerű visszatáplálását. Ezzel csökkenthető a meder eróziója, valamint bizonyos mértékben pótolható a folyó hordaléka is, amivel a hordalékvándorlás folytonossága javítható. Mindemellett a kitermeléssel a vízlépcső eredeti tározási tere is visszanyerhető, ami energiatermelési szempontból releváns kérdés lehet. A beavatkozást általánosságban a 4.2.10 fejezet taglalja, annak előnyeit és hátrányait felsorolva.



28. ábra A Donja Dubrava-i vízlépcső tározójából (A) kitermelt hordalékot közelsége miatt célszerű lehet a vízlépcső alatti, Mura-torkolatig (B) terjedő mederszakaszon deponálni, hogy a torkolat erózióját csökkenthessük.

5.2.1.2 Mederpáncél

Olyan zónákban, ahol lokálisan még jelentkeznek a meder mélyülése, érdemes lehet megfelelően durva szemcséjű frakciók deponálása a meder felszínére, melyek az áramlás hatására nem fognak elmozdulni és páncélozhatják a szakaszt (4.2.8). Ehhez meg kell vizsgálni a terület áramlástani viszonyait, valamint a kiszámított, szükséges frakció beszerzésének és betermelésének megvalósíthatóságát. Érdemes lehet összevetni az okos kotrás során kitermelhető hordalék szemeloszlásával.

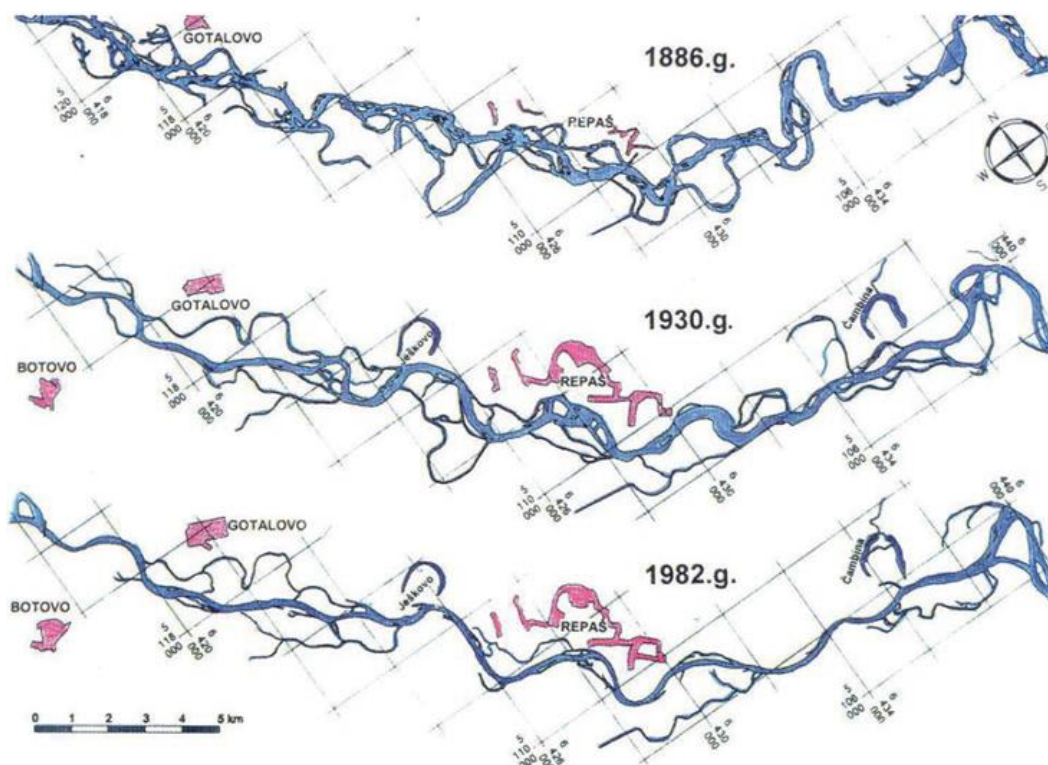
Bár a torkolat és a Donja Dubrava-i vízlépcső közötti szakasz igen rövid, a jövőben elvégzett mederanyag mintázások itt is további segítséget nyújthatnak. Például megállapítható lenne, hogy alakult-e ki páncélozott terület, melynek megbontása (4.2.9) akár új visszatáplálást biztosíthatna a szakasz hordalékháztartásába, csökkentve a torkolat erózióját. Ha léteznek ilyen területek, akkor értelemszerűen az előzőleg leírt újabb páncél felhordása nem javítana a helyzeten.

5.2.1.3 Mederpáncél megbontása

Olyan kis vízmélységű mederrészekben, ahol a csúcsra járatás következtében, a mesterségesen előállított dinamikus vízszintpulzáció a mederfelszín páncélozódását okozta, és a finom hordalékfrakciók már nincsenek jelen a meder legfelső rétegében, érdemes lehet a páncélozódott réteg időnkénti megbontása. Mivel kis vízmélységű területekre javasoljuk ezt a beavatkozást, nagymértékű erózióra nem kell számítani, de a mederpáncél alatt felgyülemlt finomabb összetételű rétegek képesek lennének elmozdulni és egy, a természetes morfordinamikát mimikáló folyamat indulhat meg. Ennek a beavatkozásnak az eredményeképpen lokális mederátrendeződések alakulhatnak ki, ami változatosabb mederdomborzatot és áramlási viszonyokat eredményez, így változatosabb élőhelyek jöhetnek létre.

5.2.2 Botovo-Vízvár (227,21-187,59 fkm) szakasz

A Dráva természetes állapotában a felső szakaszon a szigetek nagy száma miatt több ágra szakadó (így szélesebb), fonatos meder volt a jellemző (Schwarz 2007, Andrásfi 2015). A vízerőművek hatására a fonatosság mértéke 1882-2007 között lényegesen csökkent (1,73-ról 0,96-ra; Andrásfi 2015), egységesebbé vált a meder, kanyargós mintázata azonban megmaradt (a kanyargóssági index 1,37-ről 1,33-ra változott; Andrásfi 2015) (29. ábra).



29. ábra A Dráva vonalvezetésének alakulása a Botovo-Vízvár (227,21-187,59 fkm) szakaszon 1886-1982 között (Besenić 2017)

5.2.2.1 Holt- és mellékágak visszacsatolása

A fentieket figyelembe véve, ha az eredeti, természetes állapothoz hasonló viszonyok visszaállítása a cél, célszerű megoldás lehet a lefűződött holt- és mellékágak földmunkával történő visszacsatolása (4.2.3, 4.2.4). Ezeknél a beavatkozásoknál mindenképpen szem előtt

kell tartani, hogy kivitelezésük a szakasz árvízlevezetését miként befolyásolja. A visszacsatolás nem lehet negatív hatással az árvízi kockázatkezelésre, így részletes vizsgálatok szükségesek a kivitelezés előtt. Mivel a Dráva balpartja a Barcs fölötti szakaszon magaspartnak minősül, magyar oldalon nincs árvízvédelmi töltés, amivel számolni kellene. A horvát területen Répás és Botovo közötti szakaszon épült 18 km hosszban árvízvédelmi töltés a baloldalon, míg a jobb oldalon összesen 29,30 km hosszban építettek töltést a horvátok. Az esetleges visszacsatolásokkor ezeket is figyelembe kell venni, töltésáthelyezéssel (4.2.6), magaspartok áttörésekor akár új töltések kiépítésével.

Visszacsatolásra alkalmas terület például a 224,0 fkm-nél található kanyarulat, ahol az ott található 3 sarkantyú és egy partvédő mű (30. ábra) elbontásával az itt kezdődő, többnyire már elzárt mellékág (31. ábra) megnyílna.



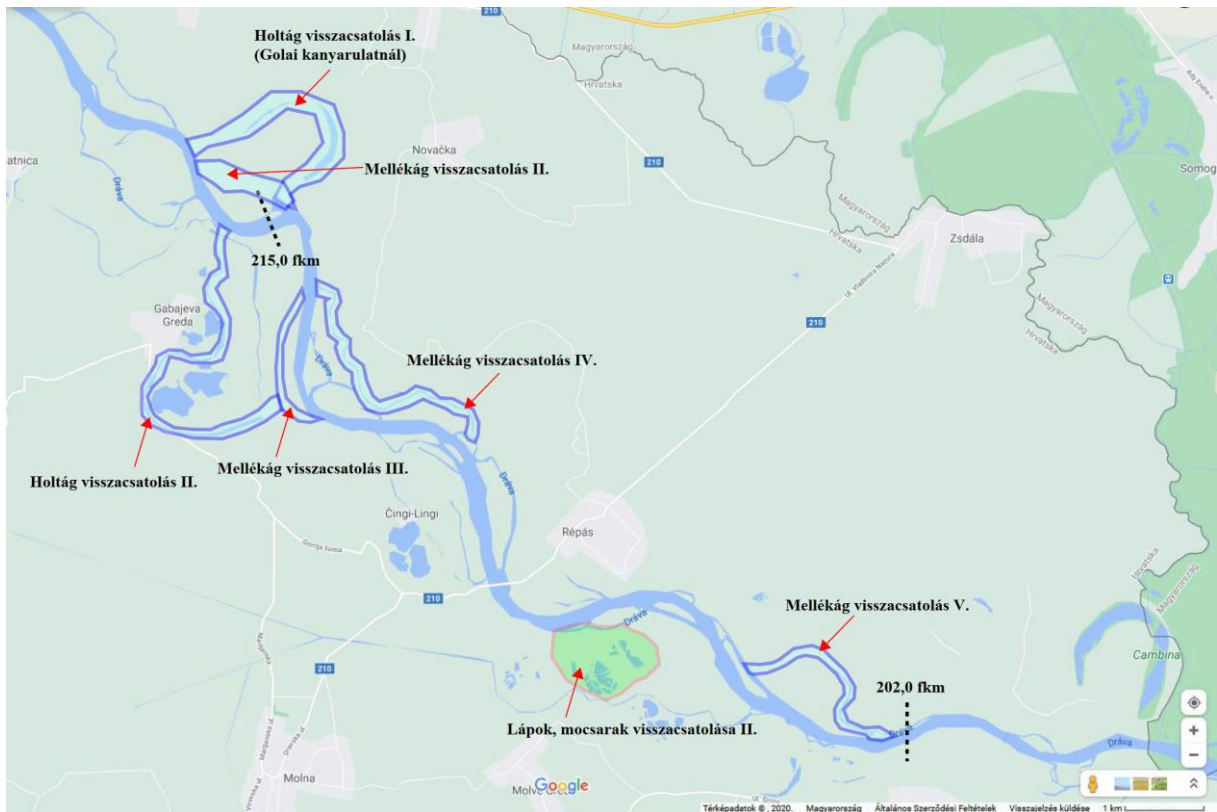
30. ábra A 224,0 fkm-nél található 3 sarkantyú és partvédő megbontása segítheti a mellékág visszacsatolását. A mellékág a III. jelű sarkantyú mögött és a partvédő mű mellett kezdődik. A III. sarkantyú a mellékág szájja előtt húzódik keresztbe.



31. ábra A Dráva 224,0 fkm szelvénye (fekete, szaggatott vonal) és a visszacsatolható mellékág (áttetsző, világos kék terület).

A DDVIZIG által készített területhasználati térképek (22-334-1 jelű – 22-334-4 jelű) alapján az érintett terület többnyire Natura 2000-es besorolású, puhafás, illetve füves, cserjés átmeneti erdő által borított. Tőle északra a D41-es jelű közút (elsőrendű műút) helyezkedik el.

A 215,40-202,20 fkm szakaszon csak néhány sarkantyút építettek, ugyanakkor a Donja Dubrava-i vízerőmű erőteljes hatással van a meder dinamikájára. A vízerőművek megépítése előtt a széles mederben a szigetek jelentős hányada a sodorvonalban volt, illetve a parthoz vagy egy másik szigethez simult. A beavatkozási lehetőségeket a 32. ábra szemlélteti.

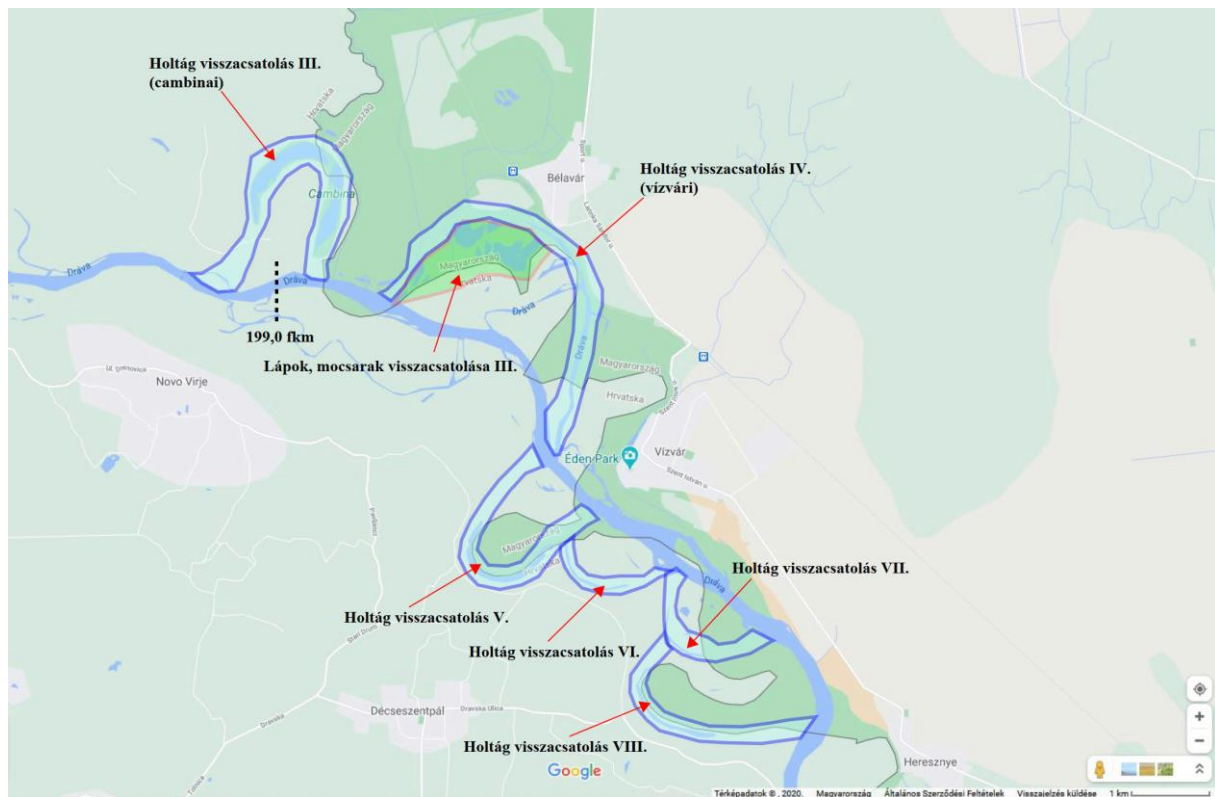


32. ábra A 215,4 – 202,2 fkm közötti szakasz és a visszacsatolási lehetőségek. Áttetsző világos késsel a visszacsatolható holt- és mellékágak, míg világos zölddel a vizenyős területek láthatók.

Az I. és II. jelű holtág visszacsatolás is töltésen/magasparton kívül eső területek bevonását igényelné. Emellett II. holtág közvetlenül Gabajeva Greda és egy kavicsbánya között húzódik, ami szintén bonyolíthatja a kivitelezést. A 215,0 fkm (golai) kanyarulatában lévő sarkantyúk szerepét is újra kell gondolni a beavatkozások elvégzéséhez. A mellékág visszacsatolások itt is puhafás, illetve füves, cserjés átmeneti erdős, Natura 2000-es területeket érintenének.

Következő terület a cambinai- és vízvári-kanyarulatokat is tartalmazó 199,0-188,0 fkm szelvények közötti szakasz. Az ezen a szakaszon elvégzett partbiztosítások és átvágások után keletkezett, részben feltöltődött holtágak visszacsatolási lehetőségeit 33. ábra mutatja. A III. holtág visszacsatolás (cambriai-kanyarulat) kivételével mindegyik érinti a nemzeti park területét, így kivitelezésük ennek fényében történhet csak meg. Az érintett területek többi része itt is a korábbiakhoz hasonló puhafás, cserjés átmeneti erdős, Natura 2000 terület. Az V. és VIII. jelű holtágak (33. ábra) szántó területeket is átszelnének, így ha ez elkerülendő, akkor követhető a két holtág eredeti, érett jellegű nyomvonala (lényegében az ide tartozó országhatár vonala) is. A szakasz területhasználatát a 12-231-1.-12-234-3. jelű térképek mutatják. András (2015) és Kiss et al. (2011) külön vizsgálták a sarkantyúépítés következtében, vagyis antropogén hatásra bekövetkező szigetépülést és -fejlődést a Dráva két kanyarulatában (Novo Virje-i és vízvári; 193,50-191,20 fkm). A sarkantyúk mögötti feltöltődés miatt folyamatosan épül a két vizsgált sziget. A magasabb zátonyok, szigetek hatására csökkenő áramlási sebesség miatt a szállított hordalék egy része lerakódik, tovább építve a szigeteket, s fokozva a mederszűkülést. A vízvári sziget példáján keresztül jól látszik a sarkantyúkkal elzárt mellékágak fokozatos feltöltődése. Ennek függvényében a Vízvárnál a 191,0-190,0 fkm

szelvények közötti szakaszon található sarkantyúk elbontásának vagy részleges elbontással való átalakításának lehetősége is vizsgálendő, ha a visszacsatolások kivitelezésre kerülnének.



33. ábra A 199,0 – 188,0 fkm közötti szakasz és visszacsatolási lehetőségei. Áttetsző világos késsel a visszacsatolható holt- és mellékágak, míg világos zölddel a vizenyős területek láthatók.

5.2.2.2 Okos kotrás

A Mura-torkolatnál már említett, vízlépcső tározó terében elvégzett okos kotrások, majd a kitermelt hordalék alvízi deponálása erre a szakaszra is kihatással lehetne, hisz a folyó hordalékhiányát kiegészítésre kerülne és az erodáló erő is csökkenne.

5.2.2.3 Mederpáncél megbontása

A szakaszon elvégzett mederanyagvizsgálatok rávilágíthatnak, hogy mely részeken alakult ki mederpáncél, melynek megbontásával a megnyitott rétegekből újabb hordalékutánpótlást biztosíthatunk.

5.2.2.4 Korábbi lápok, mocsarak, vizenyős területek visszaállítása

Az I., II. számú terület visszacsatolása (32. ábra és 33. ábra) szintén a folyó terének megnöveléséhez, erodáló erejének csökkentéséhez és az ökológiai állapot javulásához vezethet (bővebben lsd. 4.2.7).

5.2.3 Heresznye – Bolhó szakasz (188,0 – 184,0 fkm)

A Heresznye és Bolhó melletti kanyarulatok fejlődését is sarkantyúk és partbiztosítások befolyásolják. A feljebb található vízvári kanyarulat átvágásának hatására a sodorvonal eltérült, s a heresznyei kanyarulat (188-187 fkm) egyre fejlettebbé vált (Andrási 2015). A bolhói

kanyarulat a szakasz felvívén található medertágulatból kezdett el kialakulni, amely a vízszintek süllyedése miatt fokozatosan megszűnt, s melynek hátráló jobb partja egyre lejjebb tevődött, míg a sodorvonal egyre inkább a kanyarulat külső ívéhez csapódott. A külső ív középső részén 2005-2007 között partbiztosítás épült, mely jelentősen csökkentette a parteróziót. (Andrási 2015).

5.2.3.1 Mellékág visszacsatolás

A medertágulat összekötése a mederrel csökkentheti a folyó erodáló erejét, így a bolhói kanyarulat is tehermentesülhetne (34. ábra). A beavatkozás itt is puhafás, illetve füves, cserjés átmeneti erdős, Natura 2000-es területeket érintene, bár az eredeti medertágulat maradványa a nemzeti park része (12-412-1. jelű területhasználati térkép). Ezenkívül a fentebbi szakaszon említett visszacsatolások is jótékony hatással lehetnek mindkét kanyarulat további fejlődésére.

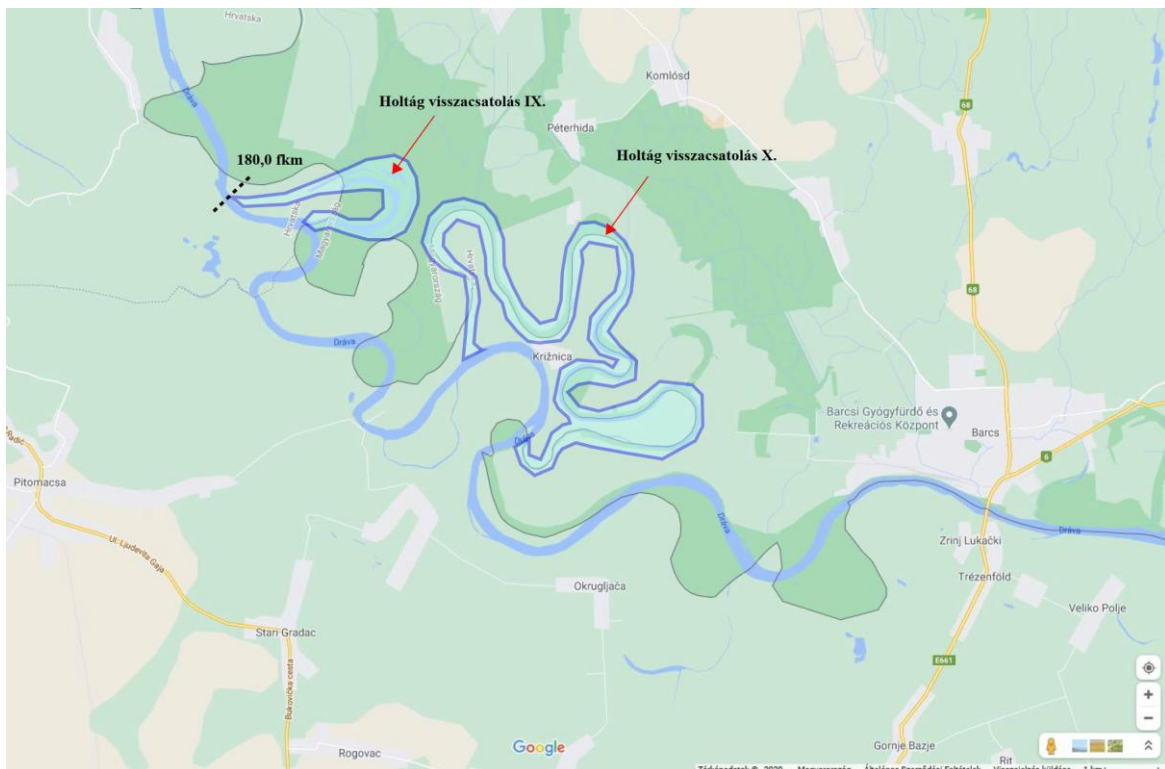


34. ábra Az eredeti bolhói medertágulat mellékággá hosszabbítása.

5.2.4 Križnicai (babócsai) meander-rendszer (173,0 – 166,0 fkm)

5.2.4.1 Holt- és mellékágak visszacsatolása

A Križnicai (babócsai) meander-rendszer egy folyamatosan fejlődő kanyarulatrendszer. Ezt a folyó megnövekedett erodáló ereje, valamint kisebb részben az itt található tektonikai vetők eredményezik. Előbbit, az eddig említett holt- és mellékág visszacsatolások (eredetihez hasonló állapot visszaállítása) csökkenthetik. Továbbá, a IX. és X. holtág visszacsatolása is lehetséges (35. ábra). A IX. jelű azonban babócsai mellékág néven már vizsgálatra került a DDVIZIG által, s az eredmények alapján visszacsatolását elvetették. A X. holtág pedig Križnica település helyzetéből kifolyólag fenntartásokkal kezelendő. Mindkét holtág mentén található nemzeti parki terület. A IX. holtágat természetközeli puhafás erdők, míg a X. holtágat többnyire szántók határolják.



35. ábra Križnicai (babócsai) meander-rendszer és beavatkozási lehetősége.

5.3 Középső szakasz (Barcs 154,10 fkm – Drávaszabolcs 77,7 fkm) beavatkozási lehetőségei

A Barcstól Drávaszabolcsig tartó szakasz a fentivel ellentétben kisebb esésű, szabályozott homokmedrű szakasz. A folyó ezen szakaszán a meder mindig is főként egyágú, kanyargós volt, kevés szigettel. Az 1800-as években bekövetkezett folyószabályozás során átvágásokkal egyenesítették ki a medret, ettől kiszélesedett, és megindult a szigetképződés illetve nőtt a fonatosság (Andrási, 2015). Mivel a folyószabályozási beavatkozások fenntartása abbamaradt, így az utóbbi időben a magára hagyott mederben új egyensúlyi állapot alakulhatott ki (BME, 2020).

A fentieket figyelembe véve, ez a fejezet az eredeti állapothoz közelítés lehetőségeit tárgyalja, beavatkozások meghatározott területekhez rendelésével. A következő beavatkozási lehetőségeket még részletesen ki kell vizsgálni, ahogy arra az 5.2 fejezet elején is felhívtuk a figyelmet (például a meder rétegzettség viszonyait megvizsgálni, vagy numerikus modellezést végezni a beavatkozások következtében fellépő mederváltozásokról). Ha pedig kivitelezésre kerülne a sor, egy monitoring rendszer felállítása javasolt, mely monitoringból a későbbiekben következtetéseket vonhatunk le az esetleges további beavatkozások előtt. A beavatkozások nem ronthatják az árvízi levezetőképességet, így a lentebb említett beavatkozási lehetőségeket ezt figyelembe véve fogalmaztuk meg, de a további vizsgálatok során beavatkozás specifikusan ezeket meg kell vizsgálni.

A Dráva Barcs alatti szakaszára készített Nagyvízi Mederkezelési Terv tartalmazza azokat a szakaszokat, ahol jelenleg partbiztosítás található. Sok rövidebb szakasz van, ahol nincs partbiztosítás, de ahol van, arra vonatkozólag általánosságban felvetjük, hogy a partbiztosítás elbontásával a folyónak megengedhető, hogy újra meanderezésnek induljon.

A Mura torkolattól Barcsig nyúló szakasszal ellentétben a Barcs alatti szakaszon a holtágak egészen távol kerültek a Dráva mostani folyásától, így ezek újra visszakapcsolása a Drávához valószínűleg tetemes beruházási költséggel járna, ezért a cél elsősorban a több helyen meglévő mellékágak fenntartása, esetleg megerősítése, melyek szigeteket formálnak a Dráva főágával. Ez azért is lehet megfelelő eljárás, mert a Barcs alatti szakasz mindig is főként egyágú, kanyargós volt, kevés szigettel (BME, 2020). Ha ezen ágak keresztgáttal lettek lezárva, akkor a gátak elbontásán túl is lehet, hogy segíteni kell a folyónak, hogy ezt a területet újra birtokba tudja venni.

Az Ős Dráva projekt Barcs és Drávaszabolcs között a táji sokféleség megőrzését tűzte ki célul, ehhez hozzátartozik az ökológiai vízigény biztosítása is, valamint a vizek megfelelő minőségének megőrzése. (Forrás: <http://osdravaprojekt.ovf.hu/>) Ha nem is ilyen nagy léptékben, de a Dráva különböző mellék- és holtágainak a vízellátása ökológiai szempontból kívánatos. A feltüntetett beavatkozási lehetőségek során figyelembe kell venni nemcsak az egyes települések vízkivételét, hanem pl. az Ős Dráva projekt vízkivételeit is, és megvalósításukhoz csak abban az esetben lehet hozzálátni, ha ezek a továbbiakban is fenntarthatóak.

5.3.1 Drávatamasi mellékágrendszer (147,8 – 144,3 fkm)

„Ezen a szakaszon a Dráva medrét két nagy kanyarulat átvágásával kiegyenesítették, majd a 20. században a szigetek alakulása miatt több ágra szakadó medret a hajózási útvonal biztosítása érdekében sarkantyúkkal egységesítették. 2007-re jelentősen elkeskenyedett a meder” (BME, 2020). A kanyarulatok visszaalakítása nagymértékű és költséges beruházást jelentene, továbbá településeket, illetve épített infrastruktúrát veszélyeztethet. Azonban az elkeskenyedés ellenében a mellék- és holtágrendszerek megerősítése javíthat a folyó ökológiai és hidromorfológiai állapotán.

A mellékágrendszer egy részét már kotrási munkálatokkal, keresztgát részleges elbontásával és átereszek beépítésével revitalizálták az elmúlt évek során, jóllehet a hordaléklerakódás nem szűnt meg. Ezen a ponton is nagyon fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a mellékág revitalizáció tervezése során, tudományosan megalapozott áramlástani és morfológiai vizsgálatokat szükséges végezni, célszerűen számítógépes modellezési eljárásokkal, amivel

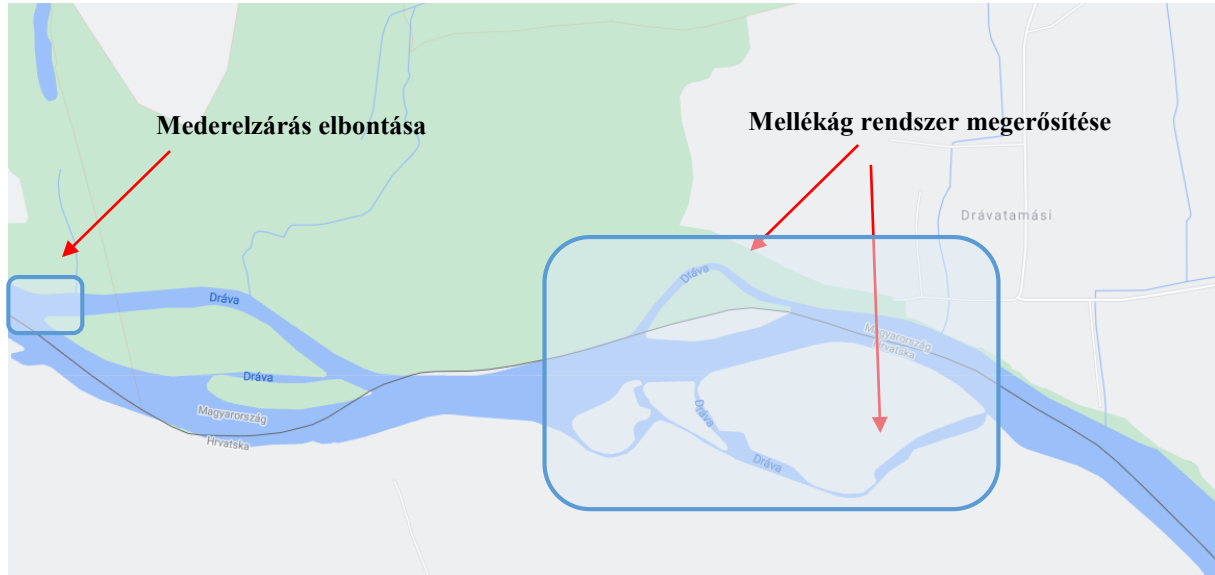
optimalizálhatók a geometriai kialakítások (szélesség, mélység, alak, stb.) és a fenntartási munkálatok időbelisége és területi kiterjedése.

A jelen fejezetben tárgyalt területen végrehajtott revitalizációs munkálatok utáni monitoringról nincsen tudomásunk, így nehezen meghatározható, hogy a beavatkozások mennyire érték el céljukat áramlási és környezeti szempontból egyaránt. A következő pontokban megfogalmazott javaslatainknál a legfrissebb térképi állományok alapján feltárható állapotokból indulunk ki.

5.3.1.1 Mellék- és holtágrendszer megerősítése, rehabilitációja

A Dráva jobb partján lévő mellékágak valószínűleg a közelmúltban végrehajtott revitalizációs munkák miatt élő vízkapcsolattal rendelkeznek, így ezeknek csupán megerősítése a cél. Például ha a felvíz felőli bejáratukat blokkolja valami, pl. kőszórás, (mint vezetómű vagy sarkantyú), esetleg erdősülés ezek elbontása segítheti a mellékág vízhez jutását. Légifelvételen a 36. ábra szerint felvízi mellékág befolyási pontjánál egyértelműen látszik egy mederelzárás, így ennek elbontása javasolt, körültekintően kialakított, áramlási és hordalékvándorlási szempontokat is figyelembe vevő geometria mellett.

A területhasználati térkép 13-334-1-es térképlapja szerint a Dráva balparti mellékágai már csupán foltokban tartalmaznak vízfelületet (nem úgy, mint a 36. ábra szerint), így ezeken a területeken már inkább holtágak vannak, amelyek nem egybefüggőek, hanem természetközeli puhafás erdők szakítják meg a szakaszokat. Az erdős területek, amennyiben azok nem hordoznak jelentős természeti értéket, ritkíthatók és esetleg kotrógéppel a korábbi mederszint elérésével az ágrendszer visszaalakítható eredetihez közeli formába.



36. ábra: Drávatamási mellékágrendszer (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

5.3.2 Felsőszentmárton és Révfülszói közti mellékágrendszer (128,4 - 119,3 fkm)

5.3.2.1 Mellékágrendszerek lefűződésének megakadályozása

A 37. ábra bemutat egy kiragadott példát a szakaszcsontról: egy a lefűződés irányába fejlődő mellékágat. Ennek és a szakaszcsonon még több helyen felfedezhető mellékág lefűződésének megakadályozásával fenntartható a szigetes jellege a folyónak. Ehhez lehetséges, hogy

meglévő folyamszabályozási műveket kell átépíteni, vagy már hordalékkal feltöltött mellékágbejáratokat megkötölni. Esetleg az eddigi főágat kell valamennyire szabályozni, hogy a Dráva maga alakítsa át a mellékágrendszert.

A 124,0 fkm-nél található felsőszentmártoni vízkivétel működőképességét bármiféle átalakítás esetén biztosítani tudni kell.



37. ábra: Felsőszentmártoni mellékágrendszer (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

5.3.3 Martinci Miholjački környéke (112 – 96 fkm)

5.3.3.1 Mellékágrendszerek lefűződésének megakadályozása

A 38. ábra több, a lefűződés felé fejlődő mellékágat mutat be. Ezen lefűződésének megakadályozásával fenntartható a szigetes jellege a folyónak. Ehhez lehetséges, hogy meglévő folyamszabályozási műveket kell átépíteni, vagy már hordalékkal feltöltött mellékágbejáratokat megkötölni. Esetleg az eddigi főágat kell valamennyire szabályozni, hogy a Dráva maga alakítsa át a mellékágrendszert.



38. ábra: 112– 96 fkm közti szakasz mellékágrendszerei (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

5.3.3.2 Folyamszabályozási művek átépítése

A fenti szakaszon kereszt- és hosszirányú folyószabályozási művek találhatók (sarkantyú, vezetőmű), melyek átépítése, elbontása javasolható. Drávaszabolcsig több ilyen mű is felfedezhető, a 39. ábra csupán egy kiragadott szakaszon hívja fel rájuk a figyelmet. A korábbi, beavatkozási lehetőségeket tárgyaló fejezetben bemutattuk, hogy a kőművek parti sávjainak átvágása az élőhelyek minőségét és a part menti biodiverzitás növelő hatást válthat ki azzal, hogy a holt áramlási terek helyében intenzív átfolyási zónákat hozunk létre. Ezzel a megoldással elkerülhető a sarkantyúk közötti szakasz teljes feltöltődése, helyette változatos hidromorfológiai viszonyokkal jellemezhető sávok jöhetnek létre.



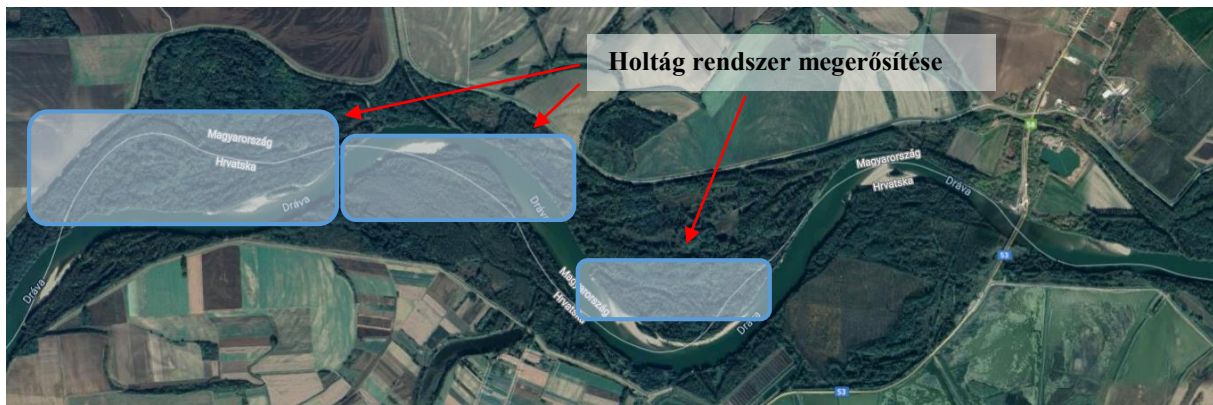
39. ábra: Átépítendő vezetőművek és sarkantyúk 103,1– 100,3 fkm között (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

5.3.4 Donji Miholjactól északra fekvő holtágak (85,7 – 79,7 fkm)

5.3.4.1 Holt- és mellékágak visszacsatolása

A területen három holtágat is rehabilitációra megfelelőként azonosítottunk: 85,0-83,1 fkm a bal parton, 83,0 - 82,0 fkm a jobb parton és 81,5 -79,7 fkm a bal parton (40. ábra).

A területhasználati térkép 04-133-3-as és 04-133-4-es térképlapja szerint szétszakadozott területeken továbbra is tartalmaz vízzel borított területeket a 85,7 és 83,1 fkm közti balparti holtág, miközben a holtág többi részét (és a többi holtág területeit is) főként természetközeli puhafás erdő nőtte be. A kijelölt területek vagy Natura 2000 besorolás alá esnek, vagy a Duna-Dráva Nemzeti Parkhoz tartoznak.



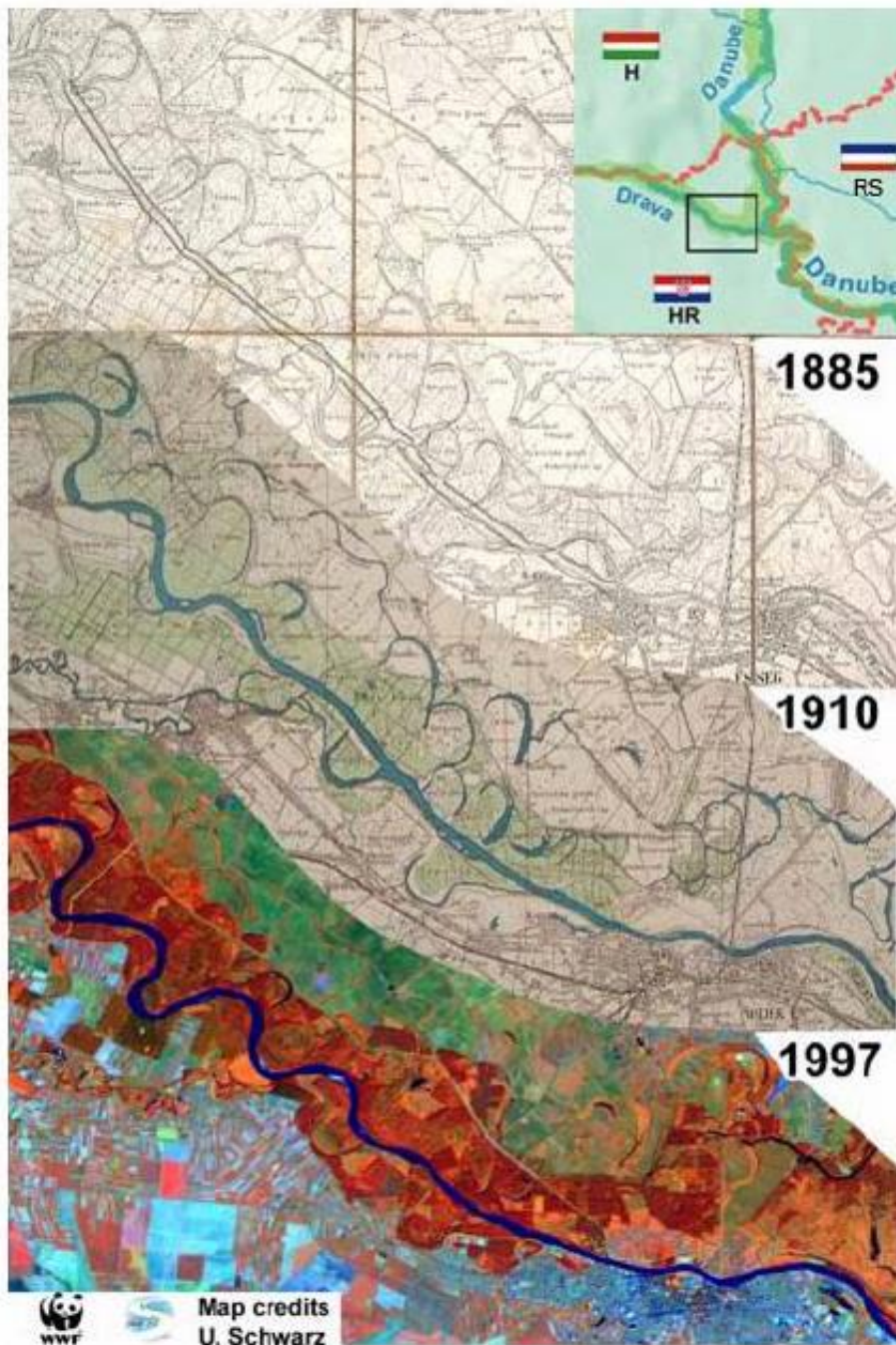
40. ábra: Donji Miholjactól északra fekvő holtágak (85,7 – 79,7 fkm) (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

5.4 Alsó szakasz (Drávaszabolcs 77,7 fkm - Duna torkolat 0,0 fkm) beavatkozási lehetőségei

A Drávaszabolcstól a dunai-torkolatig tartó szakasz áramlási és mederalakváltozási folyamatait már nagyban meghatározza a Duna közelsége. A dunai vízszintek, mint a Dráva alsó szakaszának alvízi pereme közvetlen hatással van a Dráva vízszintjeire, így a vízfolyás sebességviszonyaira és a hordalékelragadó erőre is. A meder a természetes torkolati szakaszokra jellemző módon kisebb esésű, főként egyágú, szabályozott homokmeder (BME, 2020).

A fentieket figyelembe véve, ez a fejezet az eredeti állapothoz közelítés lehetőségeit tárgyalja, beavatkozások meghatározott területekhez rendelésével. A következő beavatkozási lehetőségeket még részletesen ki kell vizsgálni, ahogy arra az 5.2 fejezet elején is felhívtuk a figyelmet (például a meder rétegzettség viszonyait megvizsgálni, vagy numerikus modellezést végezni a beavatkozások következtében fellépő mederváltozásokról). Ha pedig kivitelezésre kerülne a sor, egy monitoring rendszer felállítása javasolt, mely monitoringból a későbbiekben következtetéseket vonhatunk le az esetleges további beavatkozások előtt. A beavatkozások nem ronthatják az árvízi levezetőképességet, így a lentebb említett beavatkozási lehetőségeket ezt figyelembe véve fogalmazzuk meg, de a további vizsgálatok során beavatkozás specifikusan ezeket meg kell vizsgálni.

„A Donji Miholjactól Eszékig (80,60-18,90 fkm) tartó szakasz egy pozitív példája annak, hogy a folyószabályozási beavatkozások fenntartása nélkül a folyónak esélye van magától visszaállni egy közel természetes állapotba” (WWF, 2002). 1900-ban a teljeskörű mederkiegyenesítések hatására a Donji Miholjac alatt a torkolati szakasz hossza 80 km-ről 45 km-re csökkent. A II. világháború idején azonban megszakadt a hajózási útvonal fenntartása, s az oldalirányú vándorlás következtében megindult az új kanyarulatok kialakulása és fejlődése (41. ábra).



41. ábra: A Dráva vonalvezetésének alakulása a Donji Miholjactól Eszékig (80,60-18,90 fkm) tartó szakaszon 1885 és 1997 között (WWF 2002)

A fenti képen jól látható, hogy a folyó magára hagyva újra meanderezésbe kezdett. Költséghatékony módja lehet a korábbihoz leghasonlatosabb helyzet kialakításának a folyót „magára hagyni”, hogy a természetes folyamatok vegyék fel korábbi szerepeiket és alakítsák a tájat.

Tervezett hajózási célú beavatkozásokról nincs tudomásunk, így azokat figyelembe venni nem tudtuk, és részletesebben nem is tárgyaljuk.

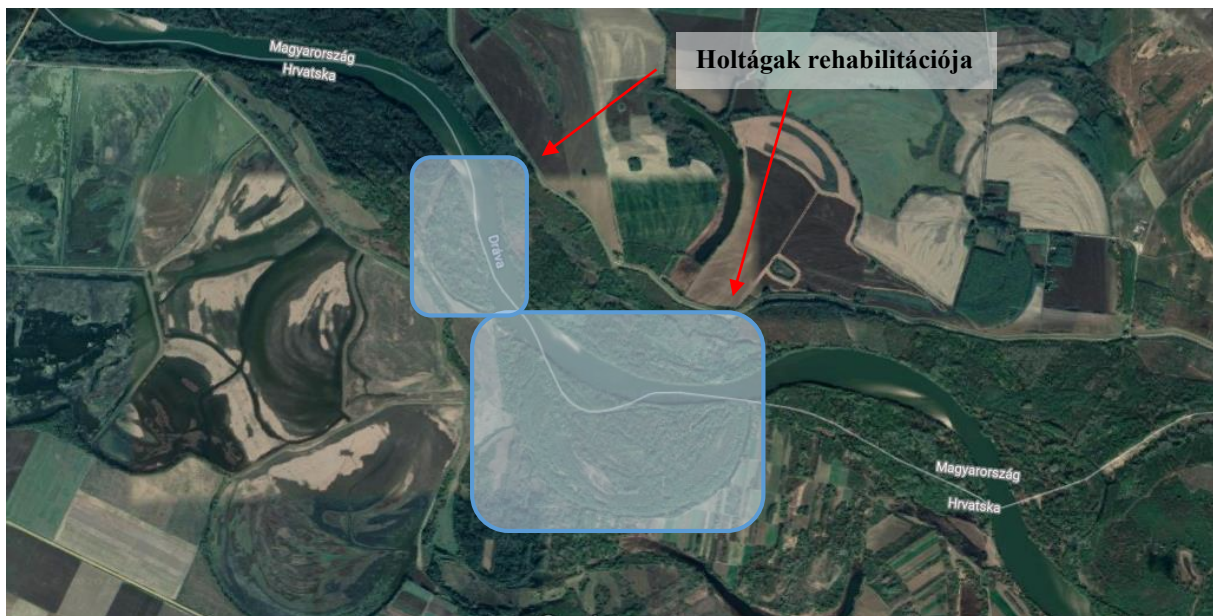
A Mura torkolattól Barcsig nyúló szakasszal ellentétben a Barcs alatti szakaszon a holtágak egészen távol kerültek a Dráva mostani folyásától, így ezek újra visszakapcsolása a Drávához

valószínűleg tetemes beruházási költséggel járna, ezért a cél elsősorban a több helyen meglévő mellékágak fenntartása, esetleg megerősítése, melyek szigeteket formálnak a Dráva főágával. Ez azért is lehet megfelelő eljárás, mert a Barcs alatti szakasz mindig is főként egyágú, kanyargós volt, kevés szigettel (BME, 2020). Ha ezen ágak keresztgáttal lettek lezárva, akkor a gátak elbontásán túl is lehet, hogy segíteni kell a folyónak, hogy ezt a területet újra birtokba tudja venni.

5.4.1 Drávaszabolcs és Keselyősfapuszta közti szakasz 75,0 – 72,0 fkm

5.4.1.1 Lefűződött, akár feltöltődött holtágak rehabilitációja

A 42. ábra szerint kijelölt két holtág rehabilitációjával érhető el leginkább az eredeti állapothoz közelítés. Fűves terület illetve bokros-cserjés átmeneti erdő található jelenleg a területhasználati térkép 04-312-2-es térképlapja alapján a 75,0 és 73,7 fkm közti szakaszon. A 73,7 és 72,0 fkm közti holtág helyén a területhasználati térkép 04-312-2-es térképlapja alapján természetközeli puhafás erdő található. A két holtág által kijelölt terület Natura 2000 védetség alá esik.



42. ábra: Drávaszabolcs és Keselyősfapuszta közti holtágrendszer 75,0 – 72,0 fkm (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

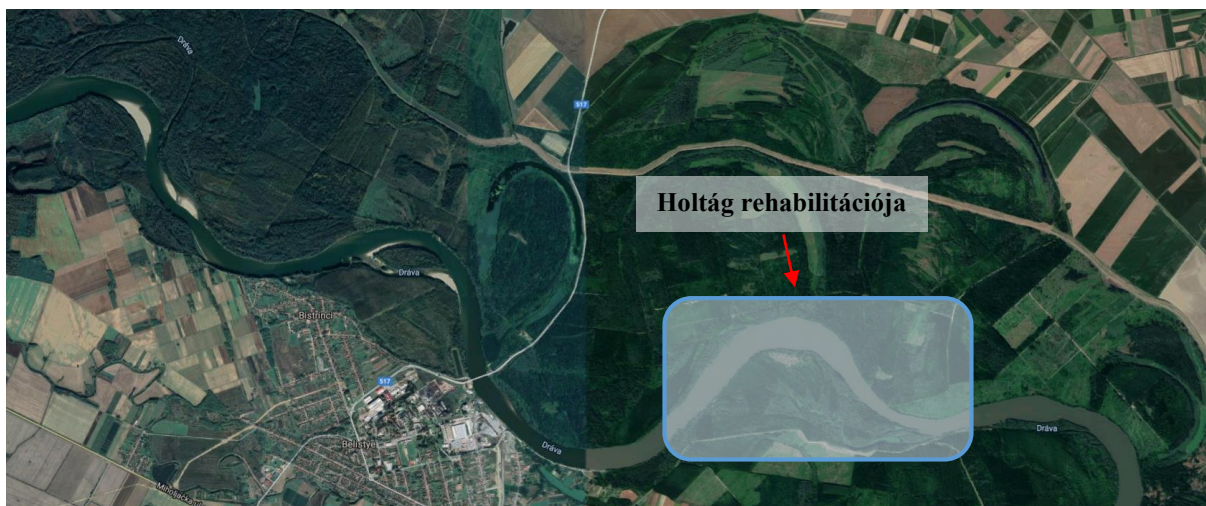
5.4.2 Belišće környéki holt- és mellékágrendszer (56,3 - 48,5 fkm)

5.4.2.1 Holt- és mellékágak visszacsatolása

A 43. ábra tartalmazza azt a kijelölt mellék-és holtágrendszer, melynek visszacsatolásával a Dráva természetközeli állapotba hozható, és a meglévő településeket, infrastruktúrát sem veszélyezteti.

A 43. ábra által mutatott holtágrendszer a területhasználati térkép 04-431-2 jelű térképlapja szerint szétszakadozott területeken továbbra is tartalmaz vízzel borított területeket, miközben a holtág többi részét főként természetközeli puhafás erdő nőtte be.

További holt- és mellékágak is találhatóak ezen a területen (ld. 43. ábra), de azok közelebbi vizsgálatot igényelnek, mielőtt rehabilitációjuk egyáltalán felmerülhetne.

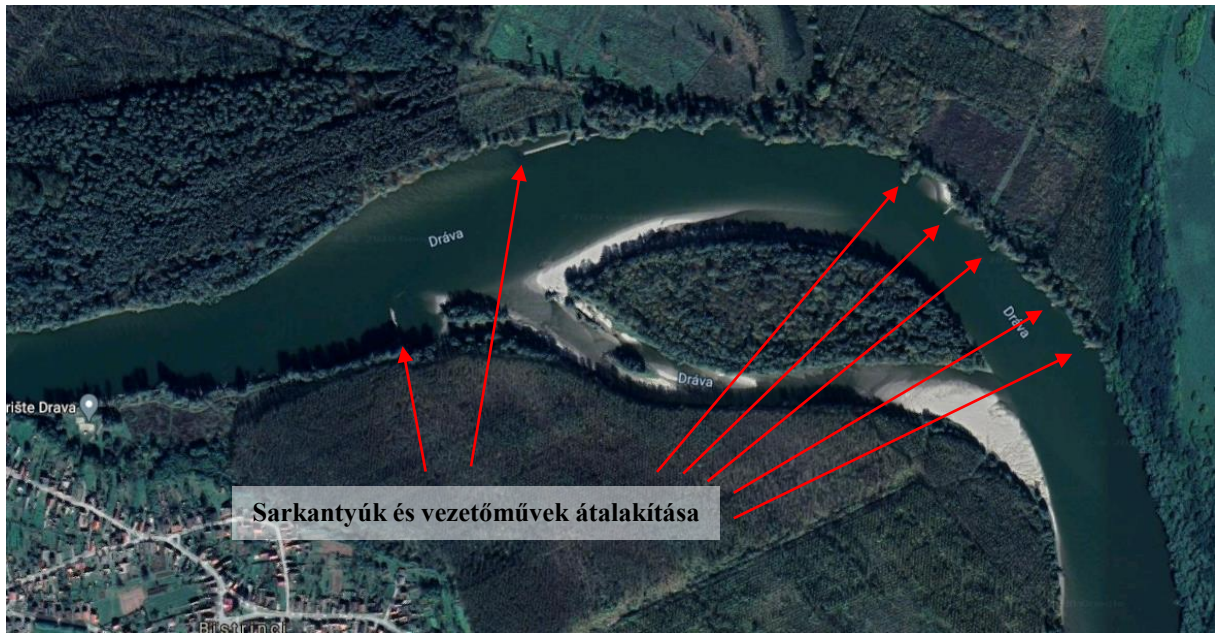


43. ábra: Belišće környéki holt- és mellékágrendszer (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

5.4.2.2 Meglévő folyamszabályozási művek felszámolása vagy átalakítása (56,3 – 54,3 fkm)

A 44. ábra bemutatja az 56,3 és 54,3 fkm-ek között elterülő szigetet és a körülötte lévő folyamszabályozási műveket. Ezen meglévő művek felszámolása vagy átalakítása természetközelibb változatra támogatandó lehet, de csak az infrastruktúrát nem veszélybe sodorva. Például a kisvízszintek csökkenésével a művek magasságát csökkentve biztosítható, hogy azok csak kisvíz idején „lépjenek működésbe”, melyek még így is védenék a szigetet és a homokos partot, amelyet minden bizonnyal a közeli település lakói látogatnak a nyár folyamán.

Kisebb ökológiai és hidromorfológiai folyosó is létrehozható a meglévő sarkantyúk part felőli végében egy mélyedést kialakítva, mivel a korábbi part közeli lassú áramlási zónákban intenzívebb áramlást idéz elő. (4.1.1 Meglévő sarkantyúk átalakítása fejezetben részletesebben kifejtjük a lehetőségeket.) A folyamszabályozási műveket a 44. ábra 43. ábra látható műholdfelvételen jelöltük. Átalakításuk megkezdése előtt a tervezési folyamat során meg kell győződni arról, hogy építményeket, infrastruktúrát nem veszélyeztetné az átépítésük, felszámolásuk.



44. ábra: A Belišćetől északra található sziget és a körülötte lévő folyamszabályozási művek (56,3 – 54,3 fkm) (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

5.4.3 A5 autópálya híd és környéke (31,5 – 29,0 fkm)

5.4.3.1 Meglévő folyamszabályozási művek felszámolása vagy átalakítása

A légifelvételek szerint még a magyar határ felé be nem fejezett A5 autópálya meglévő hídjának (30,9 fkm) környékén több sarkantyú is látható, ezen meglévő művek felszámolása vagy átalakítása természetközelibb változatra támogatandó lehet. Mindazonáltal lehetséges, hogy a kisvízszintek csökkenésével a művek magasságát csökkentve biztosítható, hogy azok csak kisvíz idején „lépjenek működésbe”. Kisebb ökológiai és hidromorfológiai folyosó is létrehozható a meglévő sarkantyúk part felőli végében egy mélyedést kialakítva, mivel a korábbi part közeli lassú áramlási zónákban intenzívebb áramlást idéz elő. (4.1.1 Meglévő sarkantyúk átalakítása fejezetben részletesebben kifejtjük a lehetőségeket.) A 45. ábra tartalmazza a légifelvételekről is látható folyamszabályozási műveket. Átalakításuk megkezdése előtt a tervezési folyamat során meg kell győződni arról, hogy építményeket, infrastruktúrát nem veszélyeztetné az átépítésük, felszámolásuk.



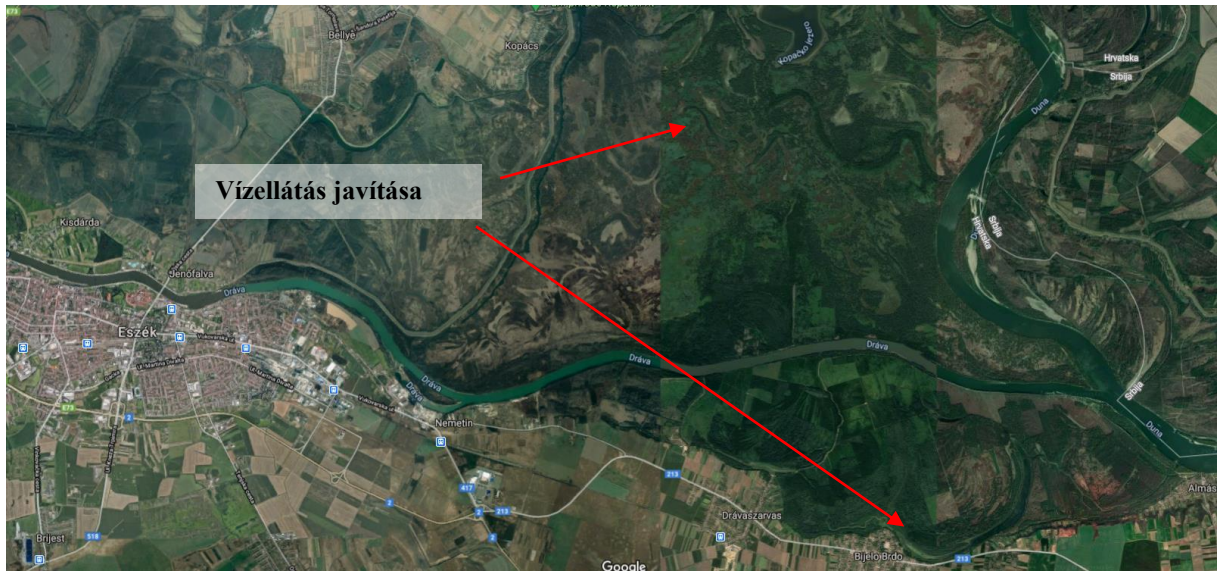
45. ábra: 31,5 - 29 fkm-en található folyószabályozási művek (sarkantyúk) (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

5.4.4 Torkolati szakasz (14,0 – 0,0 fkm)

5.4.4.1 Korábbi lápok, mocsarak, vizenyős területek vízellátásának javítása

A terület a Kopácsi Rét Nature Parkhoz tartozik, amely területen jelentős területet lefedő vizes élőhely található, melyek egy része a Dráva kiegyenesítése után visszamaradt holtágak, illetve lápok, mocsarak. Ez a szakasz a Duna és ezzel a Dráva vízszintjének csökkenése miatt valószínűleg kevésbé jut vízhez, mint a korábbi években. (Hasonló tendenciákat lehet megfigyelni a Duna más szakaszain, ahol a vízszint süllyedésével kevesebb vízhez jutnak az árterek, hullámterek, mellékágak és azokhoz közeli más vizes élőhelyek.)

A megmaradt Dráva holtágak a Nature Park területén (lásd: 46. ábra) elég távol vannak már a Drávától ahhoz, hogy visszacsatolásuk a folyóhoz megoldható legyen, így a vízellátásuk megoldását javasoljuk.



46. ábra: 14-0 fkm Kopácsi Rét Nature Park területén még megtalálható egybefüggő holtágak, illetve egyéb vizes élőhelyek melyek vízellátása megoldható (kép forrása: Google Maps, 2020. 10. 26)

6 Beavatkozások hatásvizsgálata számítógépes modellezéssel

6.1 Módszerek, esettanulmány

A folyóhelyreállítási beavatkozások tervezése rendkívül összetett feladat, amiben figyelemmel kell lenni a vízfolyás fizikai folyamataira, a legkülönbözőbb érintett területekre úgy, mint pl. árvízi kockázat, hajózás, ökológia, vízenergia termelés, rekreáció stb. és mindezek társadalmi és gazdasági hatásaira. Jelen tanulmánynak a tárgya a különböző műszaki beavatkozások felsorakoztatása kitérve azok alkalmazhatóságára a Dráva vizsgált szakaszán, és ehhez kapcsolódóan javaslatot teszünk olyan korszerű vizsgálati módszerekre is, amik a beavatkozás tervezésének hatásvizsgálatát alapozzák meg. Ahhoz, hogy bármilyen műszaki megoldás jövőbeli hatásáról képet alkothassunk modellezési eljárásokat szükséges alkalmazni, amelyek a folyó áramlási és mederalak viszonyaira tudnak előrejelzést adni. A következőkben tehát olyan vizsgálati módszerekre térünk ki, amelyek a folyómederben lejátszódó áramlási és hordalékvándorlási jelenségek elemzését teszi lehetővé, társadalmi-gazdasági és egyéb aspektusokkal itt nem foglalkozunk, mert a tanulmánynak nem tárgya.

Modellvizsgálatokat alapvetően két eltérő módszerrel tudunk végezni, ún. fizikai kismintamodellekkel és számítógépes szimulációkkal. Mindkét eljárásnak megvannak az előnyei és hátrányai. Kisminta modellek általában csak rövid folyószakaszokra építhetők fel, azok lekicsinyített másaként, ahol különböző, ún. kisminta törvények alkalmazásával lehet az áramlási jellemzőket felskálázni valós léptékre. Kisminta modelleket legtöbb esetben stabil mederfenékekkel lehet kialakítani, vagyis mederalak változás nem vizsgálható velük, ha igen, akkor nagyon nagy bizonytalansággal, mert pl. a valós folyami hordalék fizikailag korrekt kisminta léptékű leképzése csak körülményesen vagy egyáltalán nem valósítható meg. A számítógépes modellek ezzel szemben nem alkalmaznak méretarányos leképzést, ott a valós geometriai és hidrológiai viszonyok írhatók le, jóllehet a valóságban összetett áramlási és morfordinamikai folyamatokat bizonyos tekintetben egyszerűsített módon, fizikai törvényszerűségeket leíró egyenletek közelítő megoldásával szimuláljuk. Fontos tisztában lenni a szimulációs módszerek korlátaival is. Hosszú, több száz km-es folyószakaszokra, folyóhálózatokra egyszerűbb, nagyobb elhanyagolásokat alkalmazó nagyléptékű, ún. 1D modelleket alkalmazunk, amivel elsősorban a vízhozam-vízszint kapcsolatok írhatók le a modellek megfelelő bearányosítása után, bár nagyléptékű, pusztán hosszirányú mederváltozási folyamatok modellezésére is alkalmasak lehetnek. Részletesebb hidrodinamikai és morfordinamikai modellvizsgálatokat 2D és 3D modellezési eljárásokkal tudunk végezni, amelyek már a folyómeder területi változásaira is képesek becslést tenni. Mivel a mederalakváltozás döntően a mederfenék közeli áramlási viszonyoktól függ, ezért a legpontosabb képet a 3D számítógépes modellekkel kaphatjuk, amely közvetlen megoldást szolgáltat az áramlási mezőben a mederfenék közeli vízrétegekre (szemben a 2D modellel, ami mélységátlagolt áramlási sebességeket ad eredményül) és képes reprodukálni a folyókanyarokban kialakuló ún. csavaráramlást, ami a kanyarulatfejlődést kiváltja.

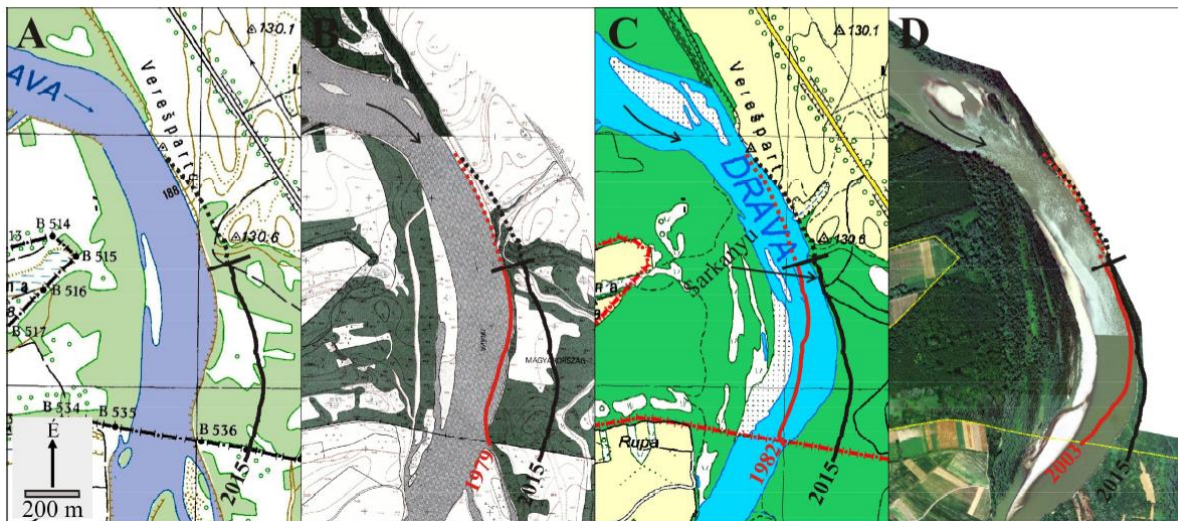


47. ábra: A németországi Lech folyó egy szakaszának kisminta modellje (forrás: BAW - <https://www.baw.at/en/wasserbau-en/projekte-wasserbau-en/abgeschlossene-projekte-wasserbau-en/lech-bed-load.html>)

A 3D modellek számítási igénye, különösen ha a mederalak változását is szimuláljuk, jelentősen magasabb mint a 2D modelleké, ezért a napjainkban elérhető számítógépi kapacitással csak rövidebb, 10 km nagyságrendű folyószakaszok vizsgálhatók. A térbeli korlátok mellett időbeli korlátokkal is szembesülünk. A mederalak megváltozását kiváltó áramlási és hordalékvándorlási folyamatok megfelelő leírásához perces nagyságrendű számítási időlépést szükséges alkalmazni, ami így csak rövidebb, nagyságrendileg hónapos léptékű időszakok alatt bekövetkező alakváltozások modellezésére ad lehetőséget. A morfodinamikai modelleknél továbbá nagyon fontos szem előtt tartani, hogy a folyókban kialakuló hordalékvándorlás fizikai leírása rendkívül összetett, különösen a mederfenék közelében mozgó, ún. görgetett hordalék esetén. A szemcsék mozgását az áramlási viszonyok, azok térbeli és időbeli változásai, a turbulencia viszonyok, a hordalékszemcsék alakja, anyaga, mérete, elhelyezkedése, rétegzettsége és további tényezők határozzák meg, ami így kizárja, hogy a számítógépes modell a hordalékvándorlást közvetlen fizikai leíró egyenletekkel oldja meg. Ehelyett empirikus, félempirikus összefüggéseket alkalmazunk, amelyek a fenti jellemzők közül a legfontosabbakat figyelembe veszik, de szükségszerűen tartalmaznak tapasztalati paramétereket is, amiket hazai és nemzetközi kutatások során, laboratóriumi és helyszíni mérések alapján határoztak meg. A morfodinamikai szimulációknál különösen fontos, hogy mely összefüggéseket alkalmazzuk a hordalékvándorlás modellezésére, mert a szakirodalom többszáz ilyen jellegű eljárást kínál. A hordalékmodellek alkalmazhatósági korlátai számos esetben ismertek, de még inkább alapozhatunk korábbi modellezési tapasztalatainkra, amelyeket hazai folyókra végzett vizsgálatokban a korábbi években gyűjtöttünk.

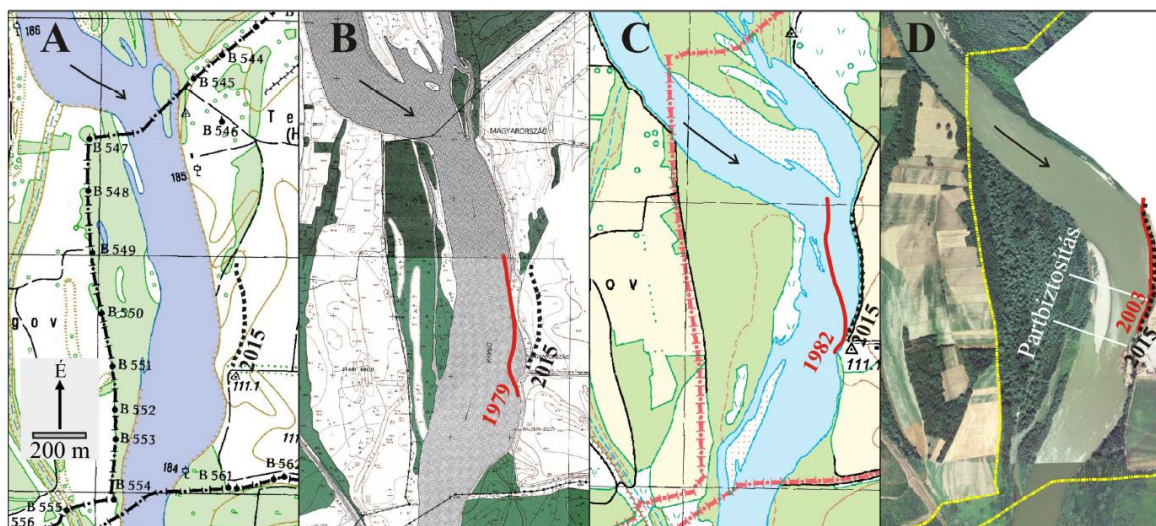
A következőkben egy mintapéldán keresztül mutatjuk be egy 3D áramlási és hordaléktranszport modell alkalmazását egy mellékág revitalizációs feladatra, azzal a céllal, hogy illusztráljuk a szimulációs módszerben rejlő lehetőségeket és korlátokat. A modellfeladatra a Dráva egy mellékág revitalizációra kijelölt területét választottuk, Heresznye térségében (186-184 fkm). A mellékág a folyó bal oldalán helyezkedik el a heresznyei és bolhói kanyarulatok között. A két kanyarulat fejlődését sarkantyúk és partbiztosítások befolyásolják. A feljebb található vízvári kanyarulat átvágásának hatására a sodorvonal eltérült, és a heresznyei kanyarulat (188-187 fkm) egyre fejlettebbé vált (48. ábra), noha a mederszűkülés 1979-2011 között csak 34 m volt

átlagosan (Andrási 2015). Megfigyelhető, hogy a külső ív magasparti és a sarkantyú (és partbiztosítás) alatti része lassabb ütemben hátrált az évek során.



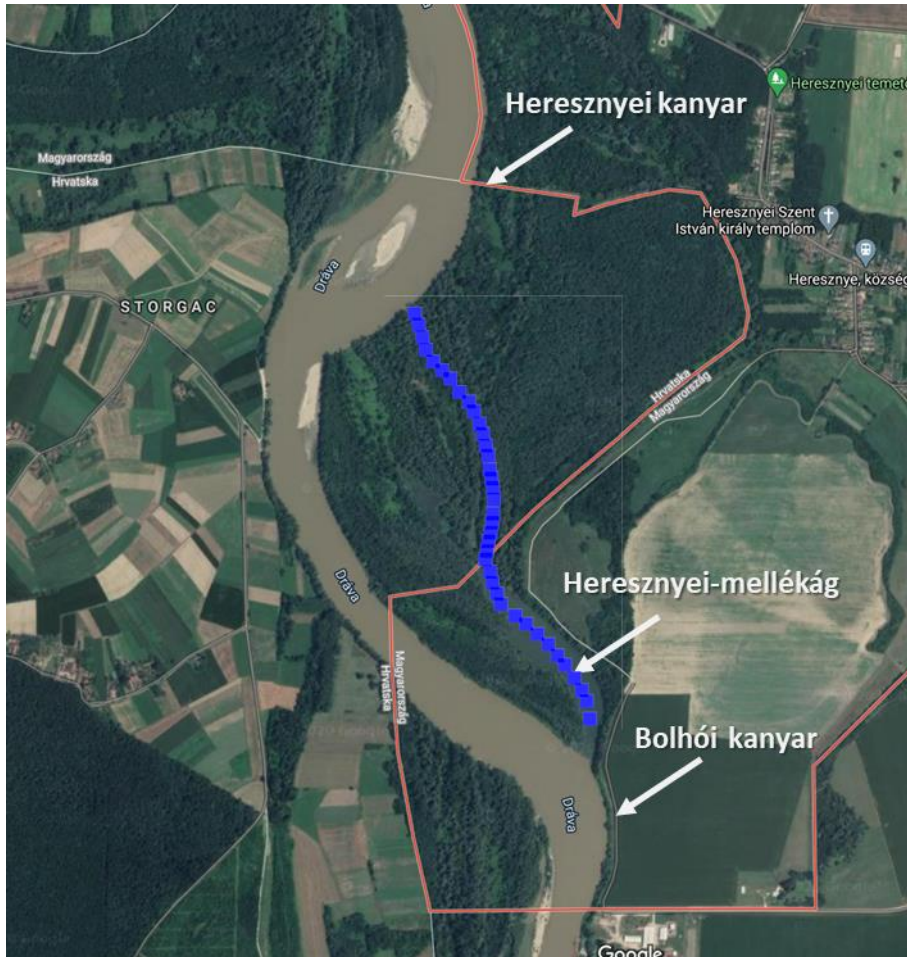
48. ábra: A heresznyei kanyarulat (188-187 fkm) kialakulása és fejlődése 1979 és 2015 között (Andrási 2015)
(A: 1979, B:1982, C: 2003, D: 2011)

A bolhói kanyarulatot (185-184 fkm) 1979-ben még egy közel egyenes, egyágú meder jellemezte (Andrási 2015). A kanyarulat a szakasz felvívén található medertágulatból kezdett el kialakulni, amely a vízszintek süllyedése miatt fokozatosan megszűnt, s melynek hátráló jobb partja egyre lejjebb tevődött, míg a sodorvonal egyre inkább a kanyarulat külső ívéhez csapódott (49. ábra). 2003-ra fejlődő kanyarulat alakult ki, a meder keskenyebbé vált. A parthátrálást befolyásolhatta a kanyarulatban történő kavicsbányászat (1995-2011), a mederből hiányzó hordalékot a Dráva intenzív meder- és parterózióból pótolhatta. A külső ív középső részén 2005-2007 között partbiztosítás épült, mely jelentősen csökkentette a parteróziót. (Andrási 2015)



49. ábra: A bolhói kanyarulat (184-184 fkm) kialakulása és fejlődése 1979 és 2015 között (Andrási 2015)
(A: 1979, B:1982, C: 2003, D: 2011)

A fentiekből látszik, hogy a Dráva itteni szakasza dinamikusan változik, ami a mellékág alakulására is kihatott. Jelen állapotban a mellékág alsó kb. egyharmadát jellemzi állandó vízborítás, a felső részek beerdősültek (50. ábra). A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság átadta a javaslatként kidolgozott mellékág vonalvezetést, amit a lenti képen kék pontokkal jelöltünk. A modellvizsgálatoknál úgy jártunk el, hogy a mellékág szélességi és mélységi viszonyait a meglévő szakasz jellemzői alapján vettük fel.



50. ábra: A modellvizsgálatra kiválasztott heresznyei-mellékág környezete (kék pontok a javasolt mellékágkialakítás tengelyvonalát mutatják).

Ahogy a későbbiekben majd kitérünk rá, egy ilyen folyó-helyreállítási hatásvizsgálatnál kiterjedt helyszíni adatgyűjtés előzi meg a modellvizsgálatokat, ahol a mederdomborzati, áramlási, hordalékösszetételi és mennyiségi jellemzőket kell feltárni. A helyszíni adatok a modell paraméterezését és igazolását szolgálják. Mivel jelen vizsgálat célja nem egy részletes hatásvizsgálat, hanem a modellezési eszköz bemutatása, a részletes modelligazolástól eltekintünk (helyszíni mérések hiányában), de a paraméterezést a Dráva e szakaszára jellemző adatok alapján végezzük el.

A 3D morfordinamikai modellezésvizsgálat alapvető lépései a következők:

- 3D számítási rácsból felépítése a mederdomborzati viszonyok és a területileg változó mederérdességek figyelembe vételével
- Hordalékmodell paraméterezése mederanyag szemösszetételi adatok alapján
- Modelligazolás helyszíni mérések alapján

- Beavatkozások beépítése a számítási rácshálóba és a mederanyag szemösszetételi adatainak módosítása (pl. új sarkantyúk helyén a terméskövek mérete alapján)
- Szimulációk futtatása mértékadó hidrológiai állapotra
- Eredmények értékelése

Az előző lépések közül a modelligazolást nem hajtjuk végre, mert nem áll rendelkezésre helyszíni adat, de az összes többi lépést elvégezzük.

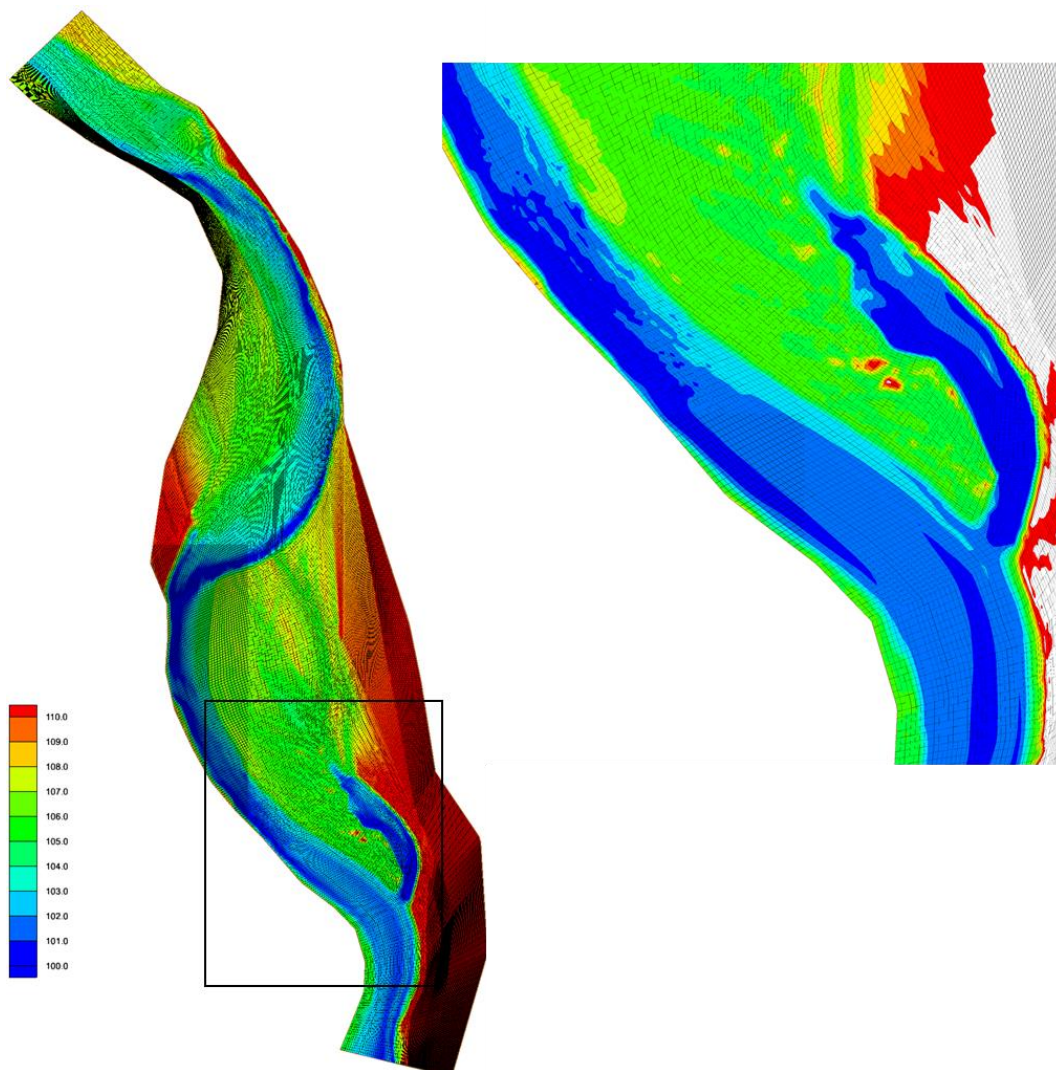
6.2 Alkalmazott modell

Vizsgálatainkhoz egy olyan 3D számítógépes modellt alkalmaztunk, amely a számítási tartományt vízszintesen egy strukturált rácshálón írja le, míg függőleges értelemben változó cellaszámmal dolgozik, a vízmélységtől függően. A modell a Navier-Stokes áramlást leíró egyenletek Reynolds-féle időátlagolt változatát oldja meg, amely eredményül a pontbeli hidrodinamikai nyomásviszonyokat és az áramlási sebesség három egymásra merőleges összetevőjét adja meg, ezeknek a térbeli eloszlását. Az áramlást leíró egyenleteket a modell kiegészíti két, a turbulencia tartalmat számszerűsítő paraméterrel, az ún. k -epszilon típusú turbulencia-moddellel. Ennek köszönhetően modellezhető a hordalékszállító képesség és a mederfenéken fellépő fenék-csúsztatófeszültség területi eloszlása is. Utóbbi kulcsszerepet játszik a hordalékvándorlási folyamatokban, hiszen a mederfenéken fellépő sűrűlási erő határozza meg, hogy a mederanyagban lévő szemcsék képesek-e felkeveredni, és ha igen, milyen formában és mennyiségben vándorolnak. A modell részletes leírása megtalálható pl. Olsen (2018) kézikönyvében.

A vízfolyásokban tapasztalt hordaléktranszport alapvetően két folyamatból tevődik össze: a vízoszlop mentén teljesen átkeveredett lebegtetett- és a meder közelében végbemenő görgetett hordalékmozgásból. Az adott szemcse mérete és a víz turbulenciája határozza meg, hogy a szemcse lebegtetett, vagy görgetett hordalékmozgást végez-e. Fontos, hogy a két folyamat számítását a kéznél lévő modellben megkülönböztethetjük. Emellett, a hordaléktranszport folyamatok modellezéséhez többfrakciós leírást alkalmazhatunk, amiket egyenként, egy reprezentatív szemcsemérettel és az ahhoz tartozó ülepedési sebességgel kell definiálnunk. Jelen vizsgálatban mind a lebegtetett mind a görgetett hordalékmozgás modellezését elvégezzük, mert előbbi eredményeképpen pl. a mellékágban potenciálisan jelentkező hordaléklerakódás vizsgálható, utóbbi pedig a medermélyülésben és egyáltalán, a főmeder alakjának alakulásában játszik fontos szerepet. A lebegtetett hordalékvándorlást az ún. advektív-diffúziós egyenlettel írjuk le, míg a görgetett hordalék vándorlásának becslésére a jelen vizsgálathoz Wu et al. (2000) összefüggését alkalmazzuk. A módszertant a vegyes szemösszetételű meder hordaléktranszportjának becslése céljából fejlesztették ki, és korábbi vizsgálataink alapján a Dráva vizsgált szakaszán területileg változó szemösszetételi viszonyok jellemzőek, sőt az alkalmazott összefüggés képes a mederpáncél kialakulásának és felszakadásának modellezésére is, amiről ismert, hogy a Dráva felső-magyarországi szakaszán jellemző a mederfenékre.

6.3 Modellépítés

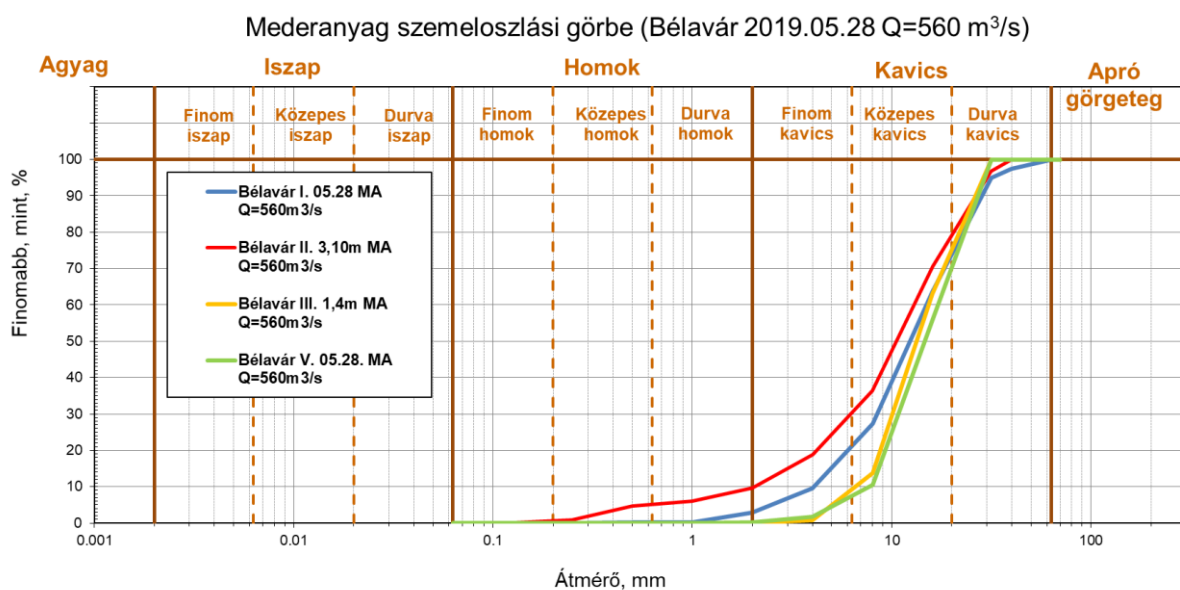
Első lépésben a vizsgált szakaszt reprezentáló számítási rácshálót építettük fel. A cellák vízszintes értelemben átlagosan keresztirányban 5, hosszirányban 10 méteres oldalhosszúságúak voltak. Tekintettel arra, hogy a modell strukturált leírást alkalmaz, a teljes modellterület logikailag egy téglalappal került leképzésre, amelyben a rácsvonalakat a folyó jellemző kontúr vonalaihoz igazítottuk. Ilyen törésvonalak pl. a partok, a folyószabályozási művek vagy az eltérő fedettséggel jellemezhető zónák. A számítási rácsháló pontjainak magasságait (az alsó határoló felületen) a legfrissebb mederdomborzati térkép alapján vettük fel, a rácspontokba való interpolációval (51. ábra). Az eltérő hidraulikai ellenállással jellemezhető területek megkülönböztethetők a modellben, mivel azok eltérő mederérdességi értékeket kapnak. Jelen vizsgálatban az egyszerűség kedvéért csak két osztályt különítettünk el, a főmedret és a hullámteret.



51. ábra: A 3D modell számítási rácshálója és annak egy részlete a mellékág visszacsatlakozásának környezetében

6.4 Modellparaméterezés

A domborzati és fedettségi adatokon túl foglalkozni szükséges a mederanyag szemösszetételi adataival, mivel ez a morfodinamikai modellezésnél fontos szerepet játszik. A modell lehetőséget ad arra, hogy az egyes számítási cellákban külön-külön szemösszetételi görbéket definiáljunk a mederanyagra vonatkozóan, amihez egy közelmúltbeli terepi mederanyag mintázás adatait használtuk fel. A 2019. évi Drávai hordalékmérések során a kb. 10 km-re felvízi irányban lévő bélavári szelvényben vett mederanyag minták alapján egyértelműen látszik, hogy a meder kavicsos, a jellemző szemcseméret tartomány 2-30 mm között változik (52. ábra). A modellben lehetőség van a szemösszetétel frakciók szerinti megadására, amit jelen esetben három osztályra különítettünk el, 3-10-30 mm-es szemcseméretre. Ezek százalékos arányát a mederanyagban a szemösszetételi görbék szerint adtuk meg, 20-60-20%-kal. Területi változékonyságot az egyszerűség kedvéért jelen vizsgálatnál nem vettünk figyelembe, de a fentiek szerint erre lenne lehetőség.



52. ábra A 2019. évi hordalékmérés során meghatározott mederanyag minták szemösszetételi görbéi a közeli bélavári szelvényben.

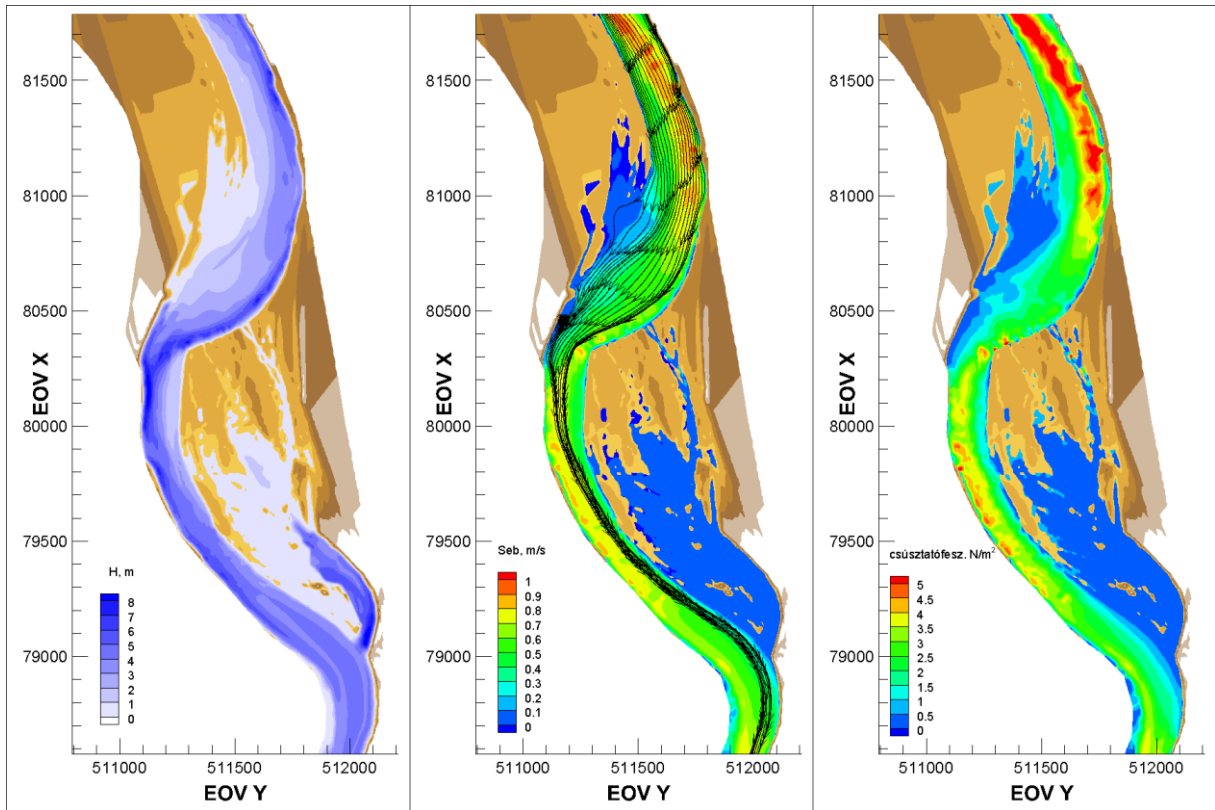
A mederanyag jellemzőinek megadása mellett a felvíz felől érkező lebegtetett hordalék középvízkor jellemző töménységét is meg kell adni és annak tipikus szemcseméretét is. A 2019. évi hordalékvizsgálatok alapján igazolható, hogy a lebegtetett hordalék átlagos szemcsemérete 30 mikron, a középvíznel jellemző hordaléktöménység pedig kb. 30 mg/l. A modellezés során a teljes befolyási perem mentén ezt a töménység értéket adjuk meg a jelzett szemátmérővel.

6.5 Modellfuttatások

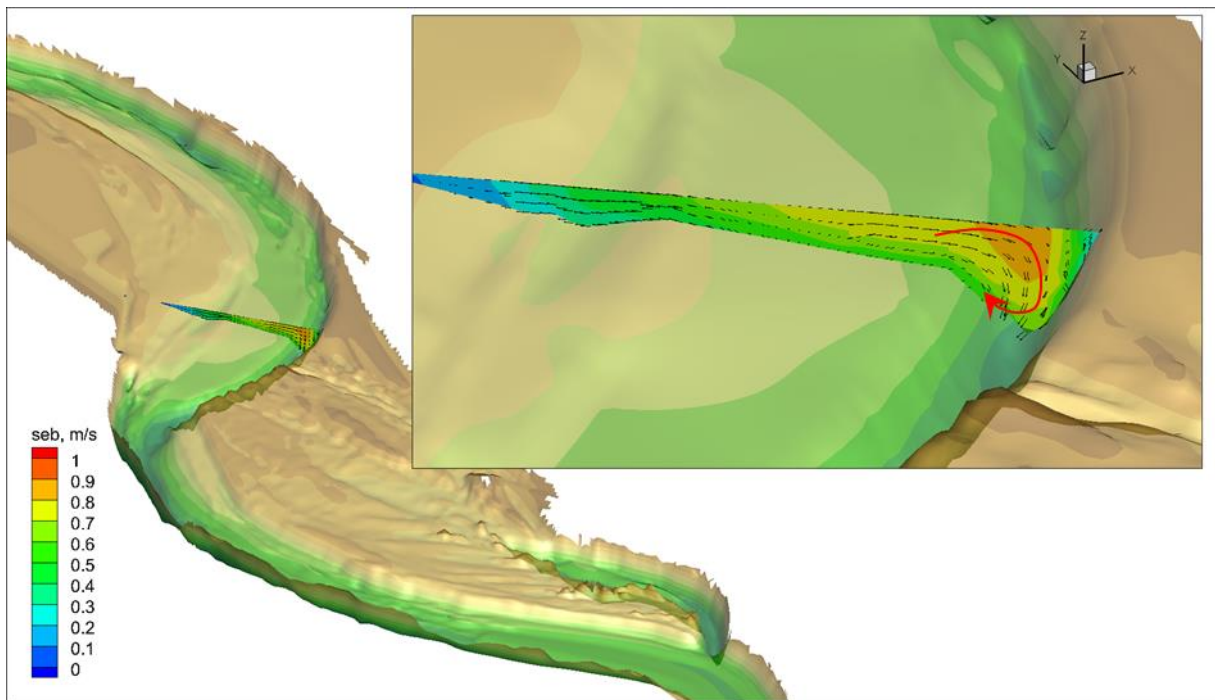
Beavatkozások hatásvizsgálatánál definiálni kell azokat a hidrológiai állapotokat, amelyek a mederfejlődés szempontjából mértékadók. Általánosságban elmondható, hogy a tartós középvízi időszakok és az árhullámok bírnak mederalakító hatással, így elsősorban ilyen állapotok szimulációját helyezük előtérbe. A mértékadó mederalakító hidrológiai állapotok megadásához szükséges ismerni a mederdomborzati, hidrológiai, lokális áramlási és hordalékvándorlási viszonyokat. Jelen vizsgálatnál a Dráva e szakaszára jellemző középvízi állapotot tekintjük mederalakítóknak, így a szimulációkhoz 500 m³/s-os vízhozamot és az ahhoz

tartozó vízszinteket vesszük fel peremfeltételként. A hatásvizsgálatok során a beavatkozások értékeléséhez a jelen állapottal vetjük össze a tervezett állapot során kapott jellemzőket, így az elemzéshez mindkét állapotra végzünk szimulációkat. Folyó morfodinamikai szimulációknál szokásos módon két lépésben végezzük el a modellezést: első lépésben az áramlási modellezést hajtjuk végre mozdulatlan medret feltételezve, majd ezt a megoldást ún. melegindításként adjuk meg a hordaléktranszport modellnek, ami már a mederalak változást is számítja. A morfodinamikai modellezés egy iteratív eljárás, ahol előre definiált számítási időlépésekben szimuláljuk az áramlási viszonyokat, majd megbecsüljük az adott időlépés során bekövetkező mederváltozásokat. A megváltozott mederdomborzat, mint új peremfeltétel mellett újra modellezzük az áramlásokat, majd ismét a mederváltozást, mindezt egészen a modellezett időszak végéig. A szimuláció eredménye egy folyamatosan változó mederdomborzat idősor.

A várható mederfejlődés értékeléséhez érdemes első lépésben a hidrodinamikai jellemzők területi alakulását vizsgálni. Az alábbiakban a mellékág környezetére kapott vízmélység, mélységátlagolt sebesség és fenék-csúsztatófeszültség mezőket mutatjuk be (53. ábra). A vízmélység mező alapján a folyószakasz összetett morfológiai viszonyai jól megfigyelhetők. A heresznyei kanyar a külső íven jelentős parteróziót okoz, míg a belső íven nagy kiterjedésű sekély zónák alakultak ki. A mellékág torkolathoz közeli szakaszán ennél az állapotnál 4-8 méter mély zónák alakulnak ki, 100-200 m szélességben. Az áramlási sebességek a morfológiának megfelelően szintén változékonnyá képet mutatnak. A vizsgált szakasz felső harmadában szűk a folyómeder és magasabb, 1 m/s-ot meghaladó sebességek alakulnak ki, ami a kanyarulathoz érve, a kiszélesedő mederben lelassul, majd ismét felgyorsul. A legnagyobb sebességek mindig a kanyarok külső ívein jelentkeznek, akár háromszoros értékkel a belső ívhez képest. Az áramlási irányokat az áramvonalak jól illusztrálják, amelyek alapján a sodorvonal a kanyarviszonyoknak megfelelően szorul a külső partokhoz. A fenék-csúsztatófeszültség mező a folyó hordalékkelragadó képességét jelzi. A legmagasabb értékek a sebességviszonyokhoz hasonlóan a külső íveken jelentkeznek, valójában a kanyarulatfejlődés ennek az aszimmetrikus eloszlásnak köszönhető. Egy kanyarlati keresztshelvényben megjelenített sebességvektorok helyzetéből (54. ábra) nagyon jól megfigyelhető az ún. csavaráramlási struktúra, ami egy keresztirányú köröző áramlást jelent (a fő áramlási irány alvíz felé mutat természetesen, itt a szelvényre vetített vektorok látszódnak). Ennek az áramlási jelenségnek köszönhető a mederfenék közeli hordalék domború part felé mozgása és végeredményben a kanyarok fejlődése, amit a modell megfelelően reprodukál.

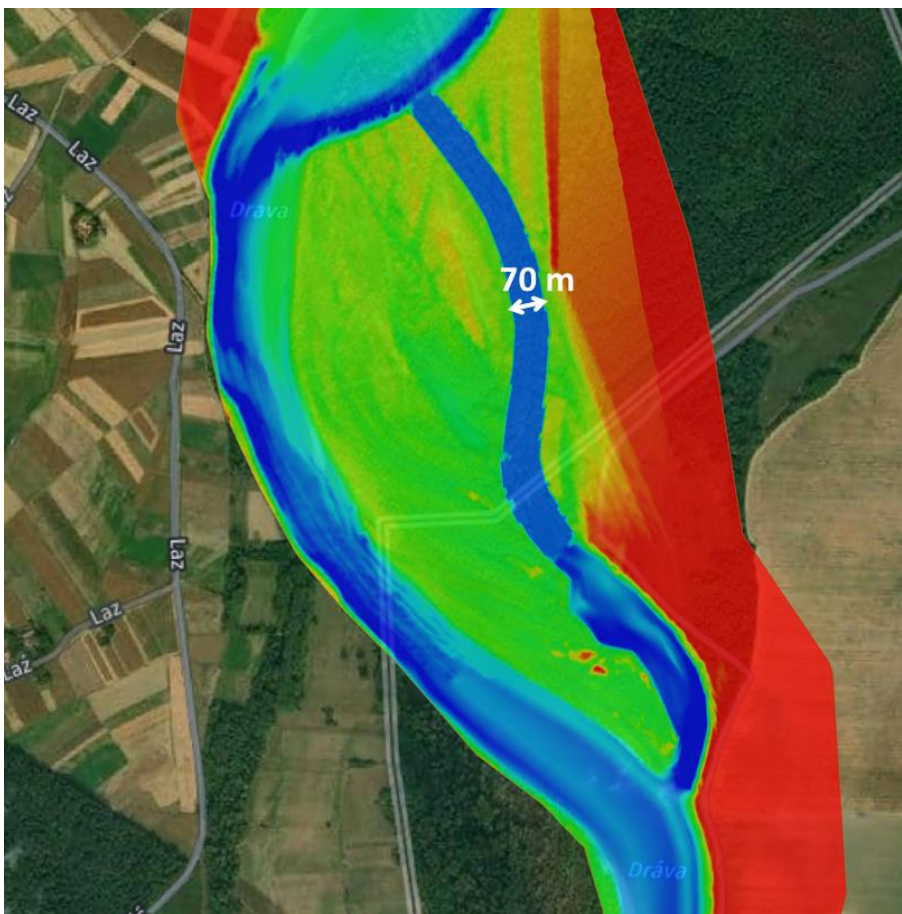


53. ábra Szimulált vízmélység (bal), mélységátlagolt áramlási sebesség (közép) és fenék-csúsztalófelez. mező középvízi állapot mellett.

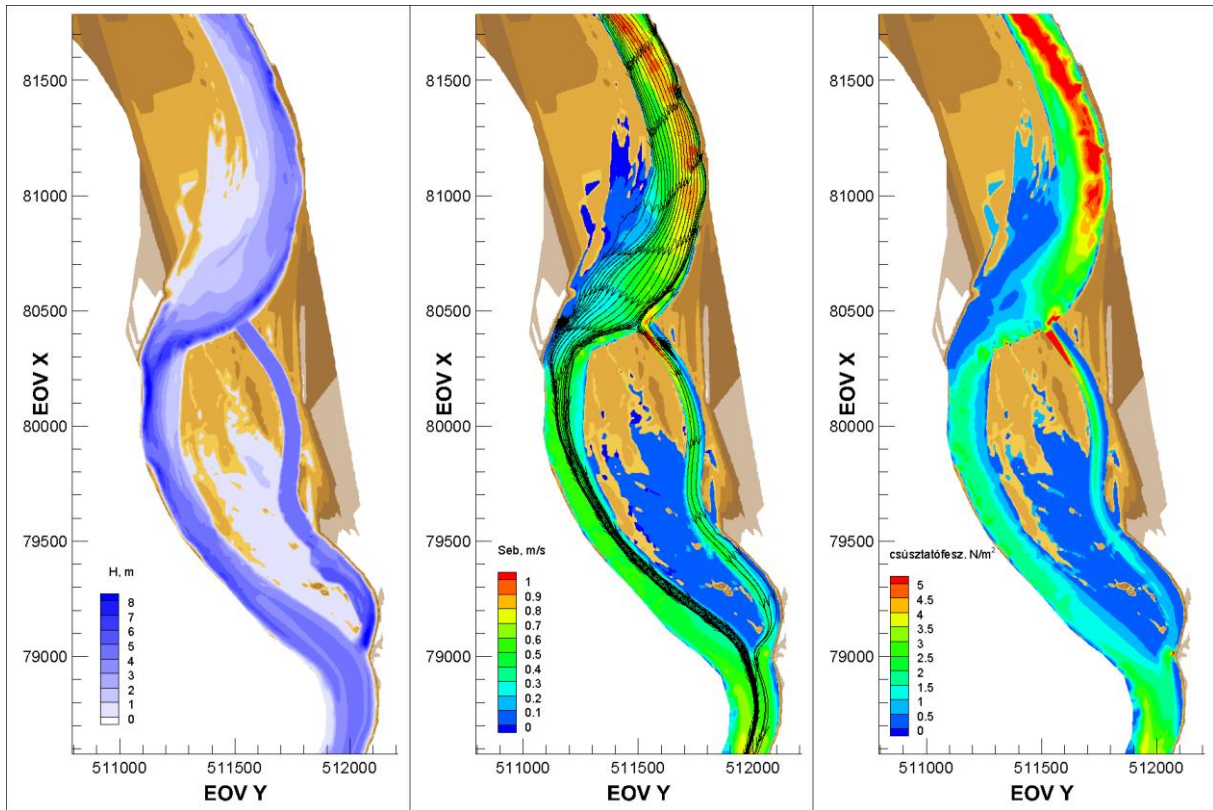


54. ábra A heresznyei-kanyarban kialakuló csavaráramlás

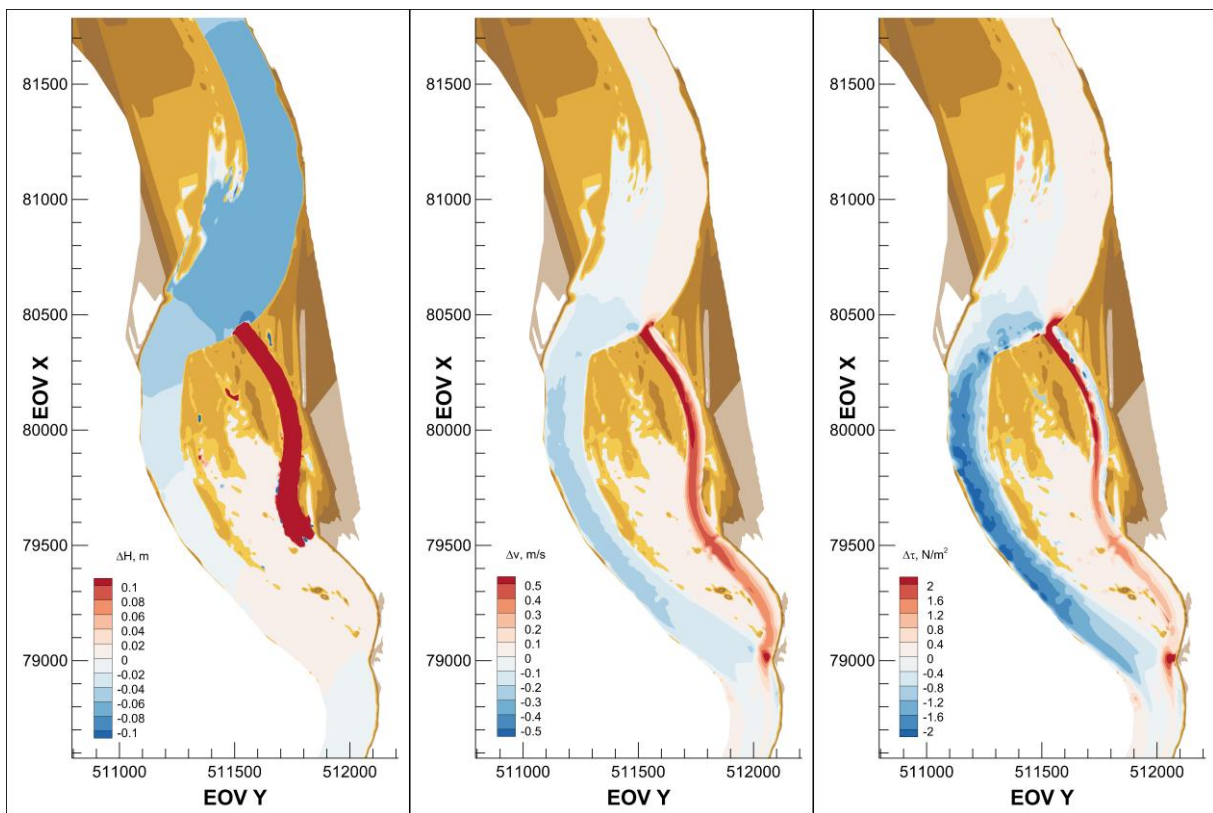
A mellékág geometriai kialakításánál követtük a DDVÍZIG által javasolt tengelyvonalat. Az oldalág szélességét, a meglévő alsó szakasz jelenlegi méretei alapján 70 méterre vettük fel, a mederszintet pedig 101,0 mBf-i magasságra szem előtt tartva a mellékág folyamatos vízborítottságát (55. ábra). Az így módosított számítási rácsháló alapján végeztünk új szimulációt a középvízi hidrológiai állapotra. A modellezett vízmélység, mélységátlagolt sebesség és fenék-csúsztatófeszültség eloszlásokat mutatja be az 56. ábra, továbbá előállítottuk a jelen állapothoz képest kapott különbségek mezőit is (57. ábra). A középvízi állapot mellett a mellékágra felvett geometriai kialakítás 4 méter körüli vízmélységet eredményez a mellékág mentén. Az áramlási sebességek a mellékágban változatos képet mutatnak a belépési szelvény környezetében, ahol lokálisan 1 m/s-ot is meghaladó nagysebességű zónák jönnek létre, sőt a mellékág bal partja mentén lassú, visszaáramló sávok figyelhetők meg. A mellékág belépési szelvényétől alvízi irányban kb. 300 métertől már egyenletes áramlási viszonyok láthatók. A sebességek megváltozását bemutató ábrán az értelemszerű mellékágbeli sebességnövekedés mellett a főágban lassuló áramlás is kirajzolódik, ahol a vizsgált hidrológiai állapotban 0,1-0,2 m/s-mal mérséklődnek a sebességek. Ez a változás még jobban tetten érhető a hordalékelragadó erő mezőin, ahol egyfelől a mellékág belépési szelvényének környezetében megugró értékek a helyi potenciális mélyülésre utalnak, a főágban lecsökkenő értékek viszont lehetséges hordalékelrakódást jeleznek előre.



55. ábra A mellékág modellbeli kialakítása.



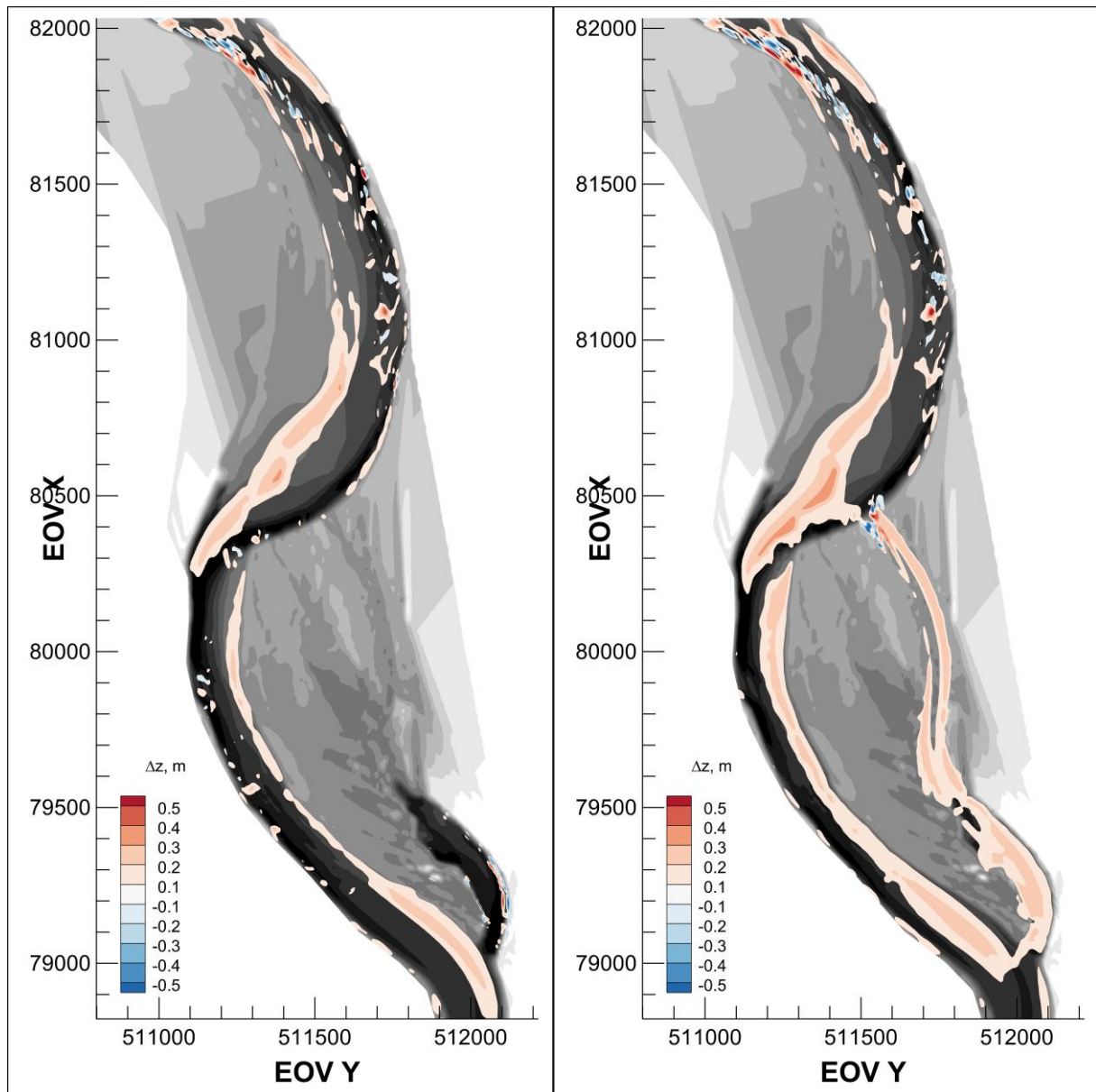
56. ábra Szimulált vízmélység (bal), mélységátlagolt áramlási sebesség (közép) és fenék-csúsztatófeszültség mező középvízi állapot mellett a mellékág kialakítása utáni viszonyokra.



57. ábra A beavatkozás hatására bekövetkezett eltérések a vízmélység (bal), mélységátlagolt áramlási sebesség (közép) és fenék-csúsztatófeszültség mezőkben.

A morfodinamikai modellhez a korábban ismertetett paramétereket vettük fel a mederanyag és a lebegtetett hordalék peremfeltételeire. A görgetett hordalékmozgásra külön nem adtunk meg hozam típusú adatot a befolyási peremnél, mivel ott hordalékhiány esetén a mederből fog felkeveredni és tovább vándorolni alvízi irányba. A szimulációt fél éves időszakra futtattuk, a teljes időszakra konstans $500 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozam értékkel, tehát egy tartós középvízi időszakot feltételeztünk. Ennél a legegyszerűbb megközelítésnél természetesen összetettebb hidrológiai viszonyok is modellezhetők, nincs akadálya például egy korábban kimért vízhozam idősor megadásának, vagy egy árhullámlevonulás modellezésének. Ilyen esetekben a felvízi irányból érkező hordalékhozamot is időben változó módon kell megadni, pl. egy hordalékhozam görbe alapján.

A korábban ismertetett módon a morfodinamikai szimuláció egy iterációs modellezési eljárás, ahol időlépésenként (itt minden 15 perc után) újrageneráljuk a mederdomborzatot és így egy időben változó mederalakot kapunk eredményül. A szimulációt a hidrodinamikai vizsgálatához hasonlóan a jelen és a beavatkozás utáni állapotra is lefuttattuk, hogy a mellékág megnyitásának hatása értelmezhető legyen. Az 58. ábra mutatja be a szimuláció eredményként kapott mederszint változások mezőit. A mezők alapvetően helyi hordaléklerakódást jeleznek a kanyarulati szakaszokban. Azokon a szakaszokon, ahol a hordalékkelragadó erő értékek a legalacsonyabbak voltak, a szállított hordalék egy része kiüledik és ennek következtében mederszint emelkedés jelentkezik. A lerakódással jellemezhető zónákat a finomabb frakciójú hordalék teszi ki. A modell szerint a heresznyei-kanyar belső íve tovább épül, míg a külső ívek már nem képesek további erózióra. A mellékág visszacsatlakozásának környezetében szintén a hordalék lerakódását jelzi a modell, mivel az egymást követő kanyarok miatt ennél a hidrológiai állapotnál a sodorvonal még a belső ívnél alakul ki. A mellékág megnyitása utáni állapotban a rávezető Dráva-szakaszon nem mutatható ki számottevő változás. A heresznyei-kanyar belső íveiben viszont a főmederben lecsökkenő vízhozam (hiszen egy része immáron a mellékágban folyik le), áramlási sebesség és hordalékkelragadó erő miatt intenzívebbé válik a mederfejlődés, számítani lehet a sekély zónák lassú tovább töltődésére. Helyi eróziós foltok jelennek meg a mellékág belépő szelvényének környezetében, mivel ott lokális gyorsulások és erőteljesebb eróziós hatás érvényesül. A mederből elragadott anyag és a fentről érkező hordalékos víz a mellékágba bejutva a mellékág bal partja menti sávban képes lerakódni, továbbá a mellékág alvízi oldalán, ahol már alacsonyabb áramlási sebességek jellemzők.



58. ábra Modellezett, fél év alatt bekövetkező mederváltozások a jelenlegi állapotban és a mellékág megnyitása utáni állapotban.

Ahogy látható, a modelleredmények alapján következtetéseket tudunk levonni a javasolt kialakítás medermorfológiára gyakorolt hatására vonatkozóan, amivel a beavatkozás tervezését tudjuk megalapozni úgy, hogy figyelembe vesszük a folyó hidrológiai, áramlási, mederanyag szerkezeti és hordalékvándorlási jellemzőit és a 3D leírással előrejelzést is teszünk. Fontosnak tartjuk kiemelni, hogy itt egy, a modellezési eszköz képességeit bemutató leírásra szorítkoztunk, egy valós tervezési feladat esetén kiterjedt mérésekkel szükséges felparaméterezni a modellt és a modellezett hidrológiai állapotok száma is magasabb. Sőt, a tervezés szükségszerűen egy olyan iteratív folyamat, amiben az első modellezési eredmények alapján további változtatásokat eszközölnek, jelen példánál a mellékág szűkítése lenne javasolt és a belépési szelvény áramlási szempontból jobb kialakítása.

7 Általános javaslatok

Bármilyen beavatkozást teszünk a folyók medrébe, annak különböző idő- és térléptékekben jelenhet meg a hatása, amit egy tervezési feladat esetén vizsgálni szükséges. A beavatkozások kihatnak a folyó áramlási viszonyaira, a hordalékvándorlásra, a mederalakra, majd ezen változások miatt közvetett módon a folyami élőhelyre, a különböző élőlények előfordulására stb. Ahhoz, hogy egy mesterségesen megváltozott helyzetre milyen módon reagál a folyó hidromorfológiai szempontból, nélkülözhetetlenek tartjuk a megalapozó vizsgálatokat, melyek kiterjednek a múltbeli állapotok és folyamatok feltárására, a jelenlegi helyzetre és a jövőben várható állapotokra is. Ezeknek a vizsgálatoknak egy részét hajtottuk végre a projekthez kapcsolódó másik jelentésben (BME, 2020), amelyben elemeztük a Dráva medermélyülési folyamatainak időbeli és hosszmenti alakulását, kitérve a folyószabályozás, az ipari célú mederkotrások és a horvátországi vízlépcsők hatásaira. A folyó teljes hosszára vonatkozó hordalékmérleg felállítása egy fontos jövőbeli feladat kell, hogy legyen ahhoz, hogy a jövőbeli beavatkozások is megalapozottabban tervezhetők legyenek. Az alábbiakban a Dráva hordalékgazdálkodásának fejlesztésére teszünk javaslatokat, felsorakoztatva különböző, de a problémához szorosan kapcsolódó releváns pontokat.

7.1 Vízyűjtő szintű hordalékgazdálkodás

Javasoljuk, hogy egy nemzetközi összefogás formájában közös, vízyűjtő léptékű elképzeléseket alakítsanak ki a hordalékkal való gazdálkodásra. Egy ilyen koncepciónak szem előtt kell tartania a környezeti, társadalmi és gazdasági aspektusokat is és szükségszerűen a vízyűjtő menti országok együttműködésében kell megvalósulnia. Figyelembe kell venni az összes eddigi ismeretünket és a jövőre vonatkozó elképzeléseket is és törekedni kell a hordalékvándorlás természetes folyamatainak biztosítására.

7.2 Jogszabályi háttér

A hordalékvándorlás problémája a Duna Vízyűjtőgazdálkodási Tervben a Hidromorfológiai Változások egyik altémájaként került beazonosításra a közelmúltban (Habersack et al., 2019b). Ez világosan mutatja, hogy a vízgazdálkodással foglalkozó szervezeteknek meg kell érteniük és be kell építeniük a tevékenységükbe a hordalékvándorláshoz kötődő problémákat. Ennek egyik módja például a hordalékgazdálkodás beépítése a Vízyűjtőgazdálkodási vagy az Árvízi Kockázatkezelési Tervekbe. Emellett fontosak lennének a Vízügyi Igazgatóságok, Nemzeti Parkok, vízlépcső üzemeltetők, kétoldalú bizottságok által közösen kezdeményezett olyan hordalékvizsgálatok, amelyek végül a jelenlegi hordalékgazdálkodási módszerek felülvizsgálatát és új üzemeltetési eljárások bevezetését eredményezhetik.

7.3 Hordalékfolytonosság megőrzése, javítása

A Dráva azon szakaszain, ahol a folyó jelenlegi állapota, morfordinamikája, hordalékviszonyai kielégítő, törekedni kell ennek az állapotnak a megőrzésére. Ahol hordalékhiányos területek vannak, a hordalékvándorlás folytonosságának növelésére kell törekedni. Tipikus példája ennek a vízlépcsők, mint akadályok hatása, ahol a hordalék egy része, jellemzően a görgetett hordalék csapdázódik és nem vagy csak kismértékben jut tovább alvízi irányba. Nem cél a vízlépcsők megszüntetése, de mint lehetőség képezhet egy jövőbeli alternatívát a hosszirányú átjárhatóság (nemcsak halak, hanem a hordalék számára is) biztosítására. Más hordalékhiányos területeken

a korábbiakban bemutatott műszaki megoldások jöhetnek szóba, az ott leírt szempontok figyelembevételével.

7.4 Érdekeltek területek bevonása

A hordalékvándorlási viszonyok javítását célzó beavatkozásoknál fontos tisztában lenni azzal, hogy a beavatkozások által elért hatások sokszor érdekellentéteket szülhetnek. Ami az egyik érdekelt számára pozitív hatást fejt ki (pl. árvízvédelmi gátak építése és a meder szűkítése), az más területek számára kedvezőtlen eredményekkel járhat (mellékágak lefűződhetnek az árvízvédelmi beavatkozások eredményeképpen), ezért bármilyen fejlesztésről is van szó, azokat az érintettek érdekeit figyelembe véve összehangoltan és integráltan szükséges kialakítani.

7.5 Összehangolt hordalékmonitoring hálózat

Mint a legtöbb folyó vízgyűjtőjén, a Drávára is igaz, hogy az elérhető hordalékadatok mennyisége és minősége nagyon változó. Javasolt emiatt a hidromorfológiai mérőhálózatok vízgyűjtő szintű összehangolása, ami nemzetközi együttműködéseket igényel. Egy, a projekthez kapcsolódó korábbi tanulmányunkban (BME, 2019) bemutattuk a jó mérési gyakorlatra vonatkozó elképzeléseinket, amit az alábbiakban ismertetünk. Az elmúlt években/évtizedekben a vízrajzi mérési módszerek jelentős fejlődésen mentek keresztül, amik itthon is lehetővé teszik többek között a mederalak és a folyókban mozgó hordalék mérésmódszertani fejlesztését és azok gyakorlatba való átültetését. Fontosnak tartjuk leírni, hogy a korszerű mérési eljárások napjainkra hazánkban is elérhetővé váltak és gyakorlati alkalmazásuk nem igényel komolyabb anyagi áldozatokat, a mérési módszerek ráadásul döntő többségében már kidolgozásra kerültek és külföldön egészen eltérő feltételek mellett már tesztelték és alkalmazzák őket. A következőkben javaslatokat teszünk a medermorfológia, a lebegtetett hordalék és a görgetett hordalék mérésmódszertani fejlesztésére bizakodva abban, hogy a közeljövőben a javasolt eljárások beépítésre kerülhetnek a vízügyi gyakorlatba.

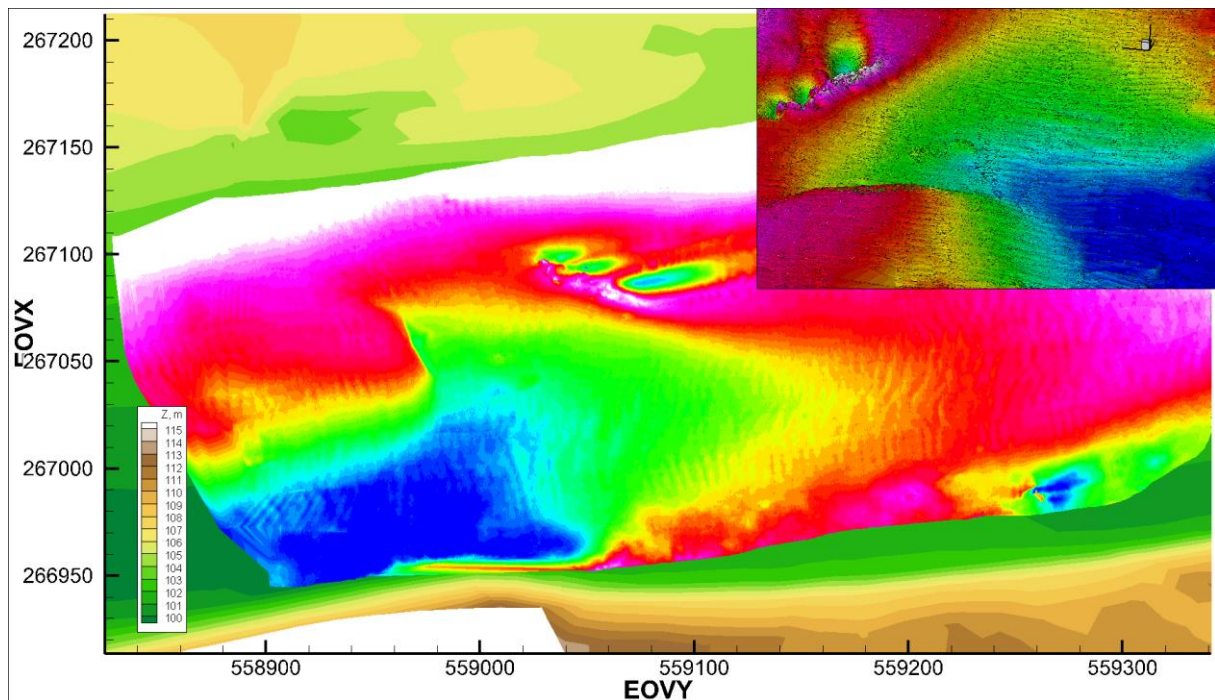
7.5.1 Medermorfológiai mérések

Ahhoz, hogy a folyómeder alakjának hosszmenti és időbeli változását, az abban szerepet játszó fizikai folyamatokkal együtt megértsük, a mederalak folyamatos megfigyelésére van szükség. Nem tartjuk elegendőnek a folyó menti vízrajzi monitoring szelvények rendszeres felmérését, hanem a meder teljes felületének folyamatos mérése szükséges. A Dráva esetében különösen fontos lenne a rendszeres medermérés, hiszen az elmúlt évtizedekben történt beavatkozások a folyó életébe (vízerőmű építések, folyószabályozási beavatkozások, ipari célú kotrások) jelentős változást eredményeztek a mederalakban, amit a folyó igyekszik kompenzálni az adott hidrológiai és hordalékvándorlási peremfeltételek mellett.

Hagyományosan a folyómeder geometriáját keresztshelvények menti egysugaras mélységmérő alkalmazásával tárják fel, újabban ezt sokszor kiváltják ADCP-vel, ami lényegileg ugyanúgy, vonal menti vízmélységeket eredményez, amiből ismert mérés kori vízszintek alapján mederszintek származtathatók. Egyre inkább beépül azonban a külföldi gyakorlatba a többsugaras mederfelmérési módszerek (Multibeam Echo Sounder - MBES) alkalmazása, amely nem pontbeli, hanem vonalmenti mérésre képes és így a mérőhajó mozgása során közvetlenül mederfelületet ad eredményül. Ennek a mérési technikának köszönhetően sokkal nagyobb mennyiségű és pontosabb geometriai adatok állnak rendelkezésre a folyók medréről. A mérési módszer ismertetésétől itt eltekintünk, de pl. Ádány Szilvia (2015) diplomamunkája

jó áttekintést ad a MBES eljárásról és annak alkalmazhatóságáról. Ebből a dolgozattól példaként bemutatunk egy ábrát (59. ábra), ami a Duna sződligeti szakaszát mutatja be és jól illusztrálja a mérési módszerben rejlő lehetőségeket.

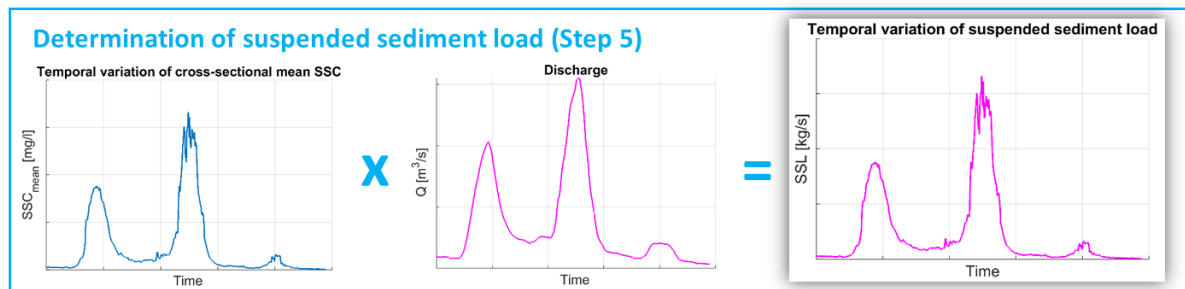
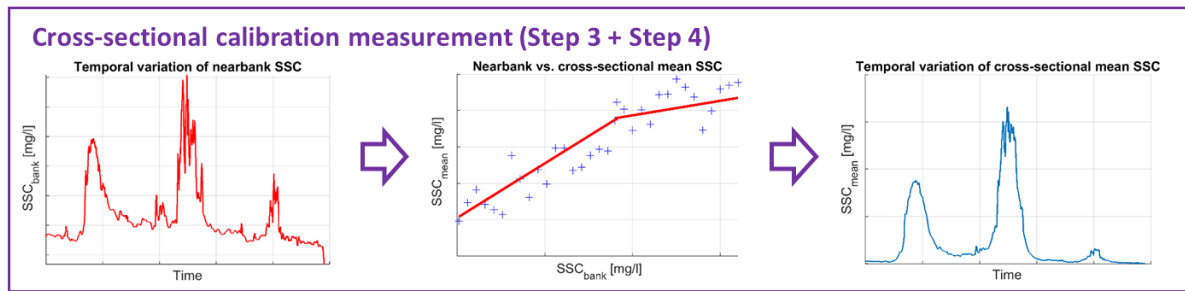
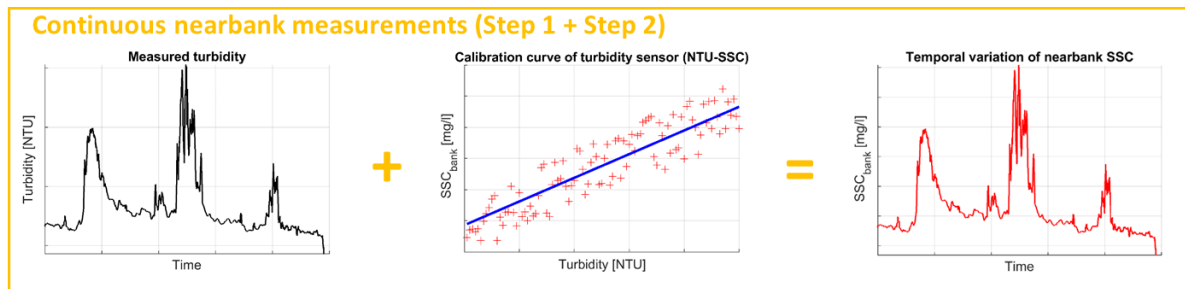
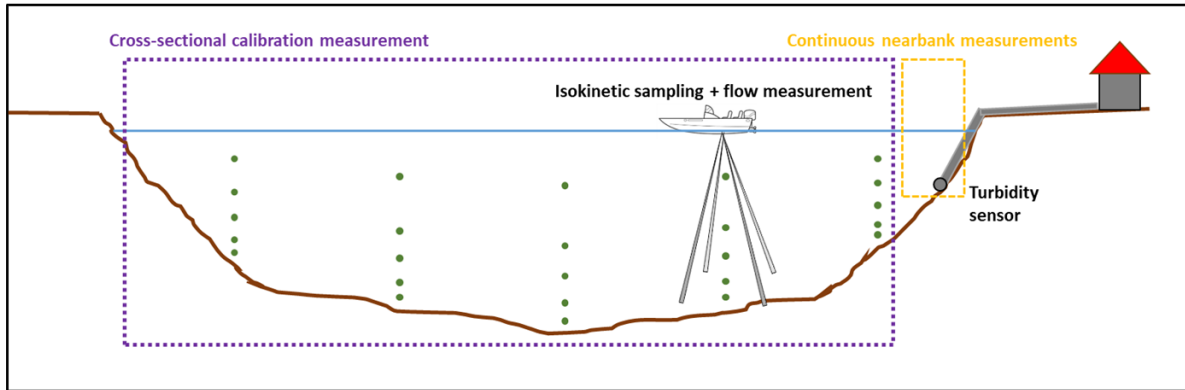
A Dráva alakváltozási folyamatainak értékelését jól támogatná egy évente végrehajtott teljes főmedri domborzati felmérés, amiből például különbségtérképeket lehetne előállítani. A különbségtérképek alapján megfelelő módon beazonosíthatók tendenciózus mélyüléssel vagy hordaléklerakódással jellemezhető mederszakaszok és jól felhasználhatók a hordalékmérleg felállításához is. Utóbbihoz előállíthatók a mederváltozási térfogatok a folyó hossza mentén, ami már összekapcsolható a görgetett hordalékvándorlási adatokkal ahhoz, hogy teljes képet kapjunk a folyó hordalékegyensúlyáról.



59. ábra Dunai példa a többsugaras mélységmérő által eredményezett mederdomborzati térképre.

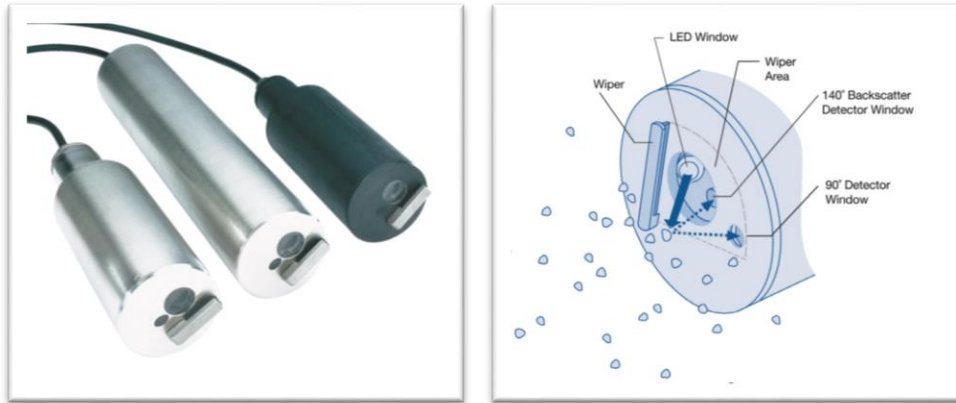
7.5.2 Lebegtetett hordalékmérések

A lebegtetett hordalékjárás hossz mentén is időben is dinamikusan változó jellemzőinek mérésére egy olyan monitoring rendszer kiépítését javasoljuk, amely ha a folyónak ugyan csak pár pontjában is, de folyamatosan (értsd pl. 15 percenként) detektálja a hordaléktöménységet, majd a nagy időbeli felbontású adatsort felhasználva tudjuk kiterjeszteni a becslést a folyó egyes keresztmetszéveire. A javasolt monitoring rendszer részletes leírását itt mellőzzük, mert pl. a korábban már említett DanubeSediment DTP projektben már bemutatásra került. A hivatkozott projektben készült többek között egy jó mérési gyakorlatot tartalmazó kézikönyv (DanubeSediment, 2019), amiben ismertetjük a mérőrendszer felépítését és az egyes elemek legfontosabb jellemzőit és a legfontosabb gyakorlati ajánlásokat. A mérőrendszer elvi vázlatát a 60. ábra mutatja be.



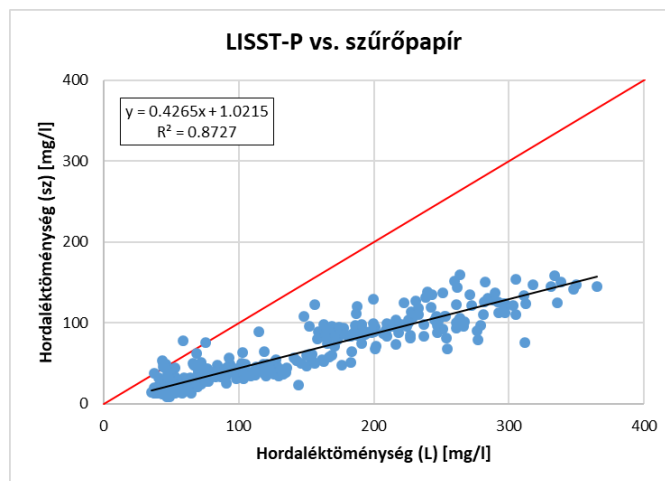
60. ábra A DanubeSediment projektben kidolgozott jó lebegtetett hordalékmérési gyakorlat elvi vázlata (DanubeSediment, 2019).

A javasolt monitoring eljárás lényegét a következőkben fogalmazzuk meg. A folyó egyes szelvényeiben, célszerűen a jelenleg is alkalmazott vízrajzi mérőszelvényekben, de szükség esetén sűrűbb kiosztással part menti zavarosságmérők telepítése szükséges (pl. Solitax szenzorok, lásd a 61. ábrán), amely magas mintavételi frekvenciával (pl. 15 perc, egy óra) képes a pontbeli zavarosság értékek rögzítésére.



61. ábra Solitax pontbeli zavarosságmérő szenzor.

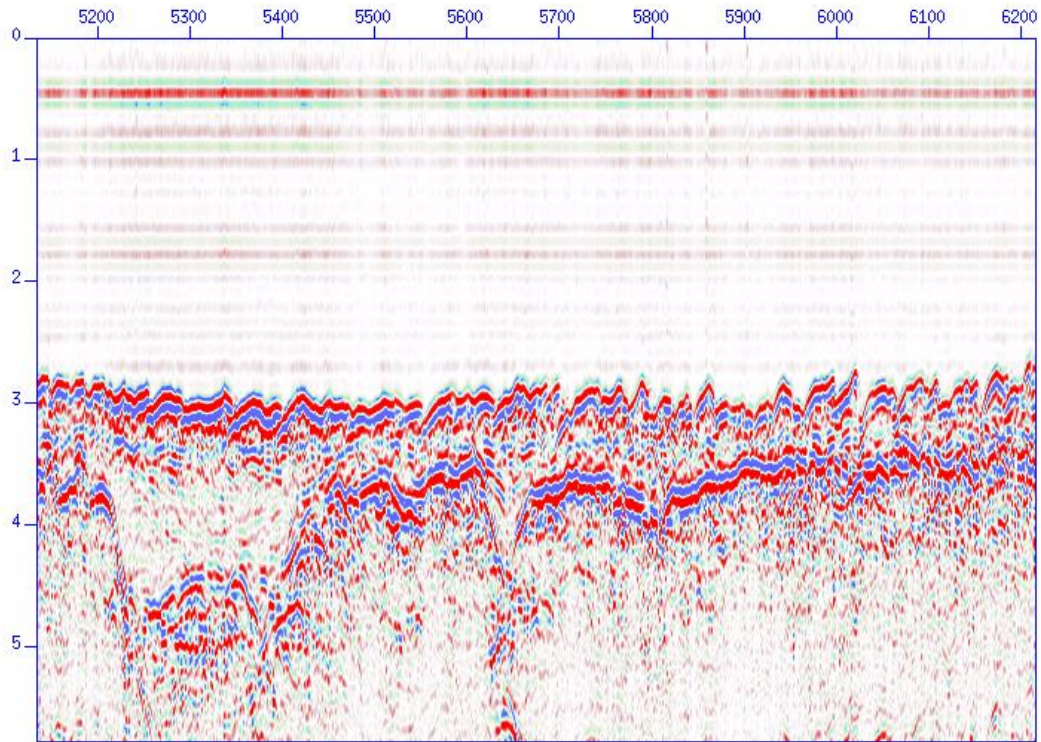
A mérési módszer segítségével képet kaphatunk pl. egy árhullám levonulása alatti hordaléktöménység időbeli változásáról, az árhullám tetőzésénél jelentősen megugró hordalékterhelésről. Mivel a lebegtetett hordalék folyamatos monitorozása csak indirekt mérőműszerrel lehetséges (általában optikai vagy akusztikus elven működő), azok kalibrálásához a mérőműszer közvetlen környezetéből vett vízmintákra van szükség. Ahhoz, hogy a keresztshelvény egy pontjában ismert hordaléktöménység értékből szelvény menti hordalékhozamot származtathassunk, ami a mérés célja, szükséges felállítanunk egy kapcsolati összefüggést a parti menti hordaléktöménység és a szelvény menti hordalékhozam között. A hordalékhozam méréshez a hagyományosan is alkalmazott kampányszerű szelvény menti hordalékmérés végrehajtása szükséges. Ennél a mérési módszernél is a nagyvízi állapotok a hangsúlyosak, hiszen azokban az esetekben várható jelentősen nagyobb hordalékterhelés, amik jelentősebb morfológiai változásokat okozhatnak. Mind a zavarosságmérő kalibrálásánál, mind a kampányszerű méréseknél viszonylag nagyszámú vízminta megvétele szükséges, amelyek utólagos elemzése fog hordaléktöménység értékeket szolgáltatni. Korábban már felhívtuk rá a figyelmet, hogy korszerű, külföldi laboratóriumokban a szűrőpapíros eljárással tudják minimalizálni a laborelemzésben rejlő bizonytalanságot, ezért javasoljuk a Dráva minták esetében is ezt alkalmazni, hasonlóan ahhoz, ahogy jelen munkában azt végrehajtottuk. Tekintettel arra, hogy a hazai Vízügyi Igazgatóságok rendelkeznek lézeres elvű hordalékmérő műszerekkel, javasoljuk azok alkalmazását is. A lézeres elvű eljárás, pl. Lisst-Portable alkalmazásával jelentősen lecsökkentheti a laborelemzés idejét és költségét, bár fontos megjegyezni, hogy a módszer, hasonlóan a zavarosságméréshez, kalibrációt igényel. A 62. ábrán egy, a Dunára kapott kalibrációs görbét mutatunk be, ami jól illusztrálja a kapcsolat erősségét és a kalibrált eszköz alkalmazhatóságát későbbi elemzésekre.



62. ábra Szűrőpapíros laboratóriumi elemzéssel és lézerdiffrakciós eljárással kapott hordaléktöménység értékek közötti kapcsolat egy dunai példán keresztül.

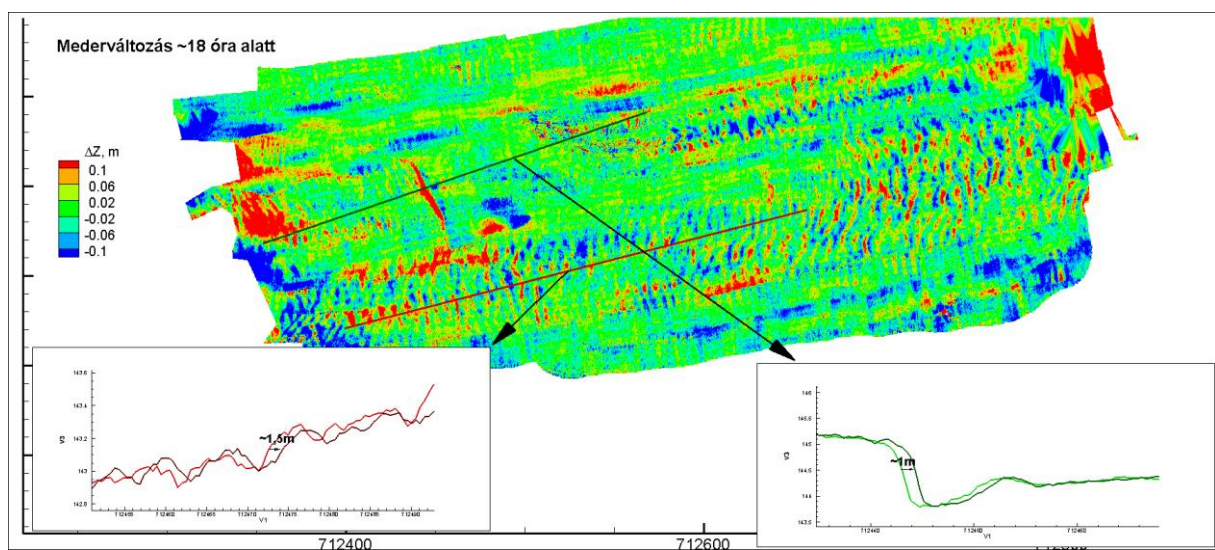
7.5.3 Görgetett hordalékmérések

A görgetett hordalék mérésének fejlesztésére hosszú ideje, folyamatosan jelentős erőfeszítéseket tesznek a témát gondozó kutatók, mert a hordalékmozgás jellegéből, a műszerek alkalmazhatósági korlátai miatt, a mérési körülmények sokszor nehéz volta miatt általában véve nagy bizonytalansággal terheltek a mérések. A Dráván jelenleg alkalmazott fizikai mintavételi eljárások, a megfelelő hordalékfogók alkalmazása, a víz alatti kamera bevetése, jó alapot nyújt hosszabb idejű hordalékelemzéseknek, de javasoljuk azok kiegészítését egyéb, közvetett mérési módszerekkel, továbbá hangsúlyozzuk, hogy medermorfológiai szempontból kiemelt szerepet játszanak a nagyvizes időszakok, így amennyire lehet, a méréseket ezekre szükséges csoportosítani. A Dráva esetében az egyik ilyen indirekt, kiegészítő mérési eljárás lehet a medervándorlás expedíószerű mérése a folyó egy-egy szelvényében. A módszer olyan folyókon alkalmazható jól, ahol mederformák, dűnék mozognak a mederfenéken. Korábbi geofizikai mérések igazolták, hogy a Drávában is jelentős mederformák jelennek meg (lásd a 63. ábrát).



63. ábra Mederrétegződési hossz-szelvény a Dráva 156 fkm térségében.

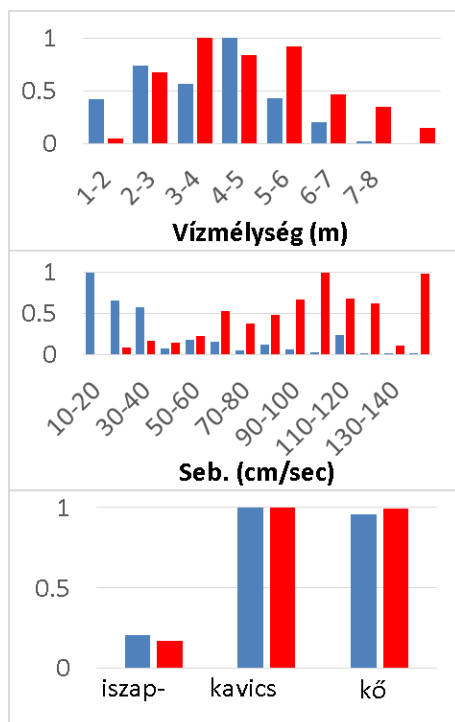
A mederben hosszirányú mélységmérésekkel, azok bizonyos időközönként való megismétlésével (nagyvízkor jellemzően néhány óra különbséggel) láthatóvá válik a dűnék alvízi irányba való elmozdulása (64. ábra). A dűnevándorlás alapján számíthatóvá válik az a hordaléktérfogat, ami a két mérés között eltelt idő alatt elmozdult. Ez megfeleltethető a görgetett hordalék mozgásának, így végeredményben a kereszt-szelvény menti görgetett hordalékhozam is meghatározható.



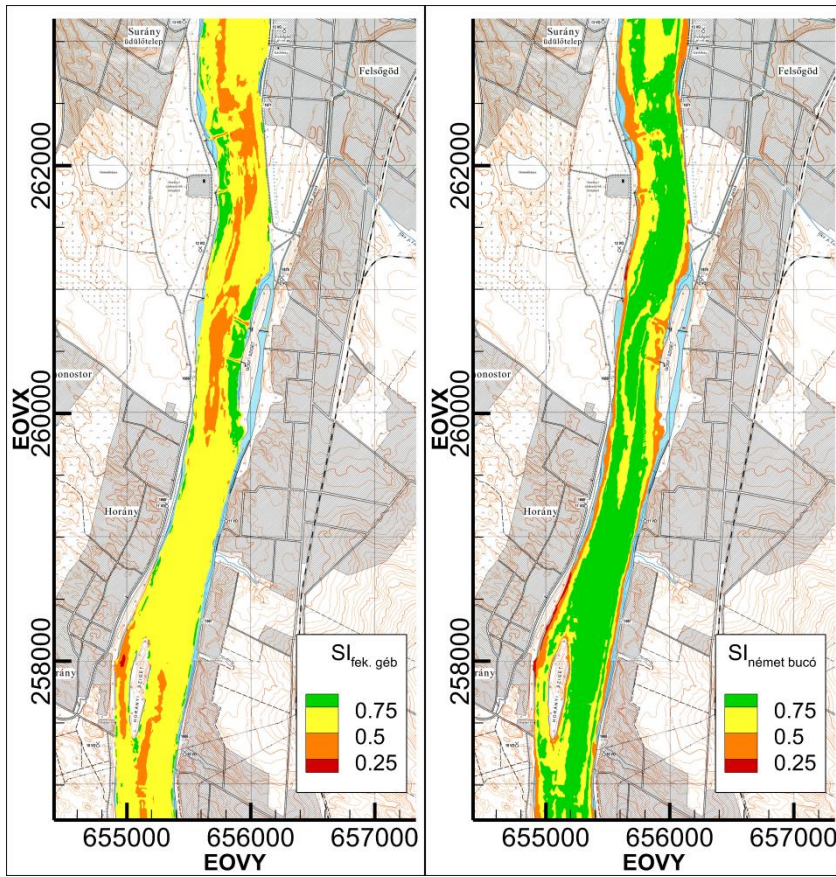
64. ábra Megismételt hosszmenti medermérés során látható dűnevándorlás a Duna Gönyű környeki szakaszán.

7.6 Élőhely-hidraulikai vizsgálatok

Halak viselkedésében, élőhely-választási stratégiájában fontos szerepet játszanak alapvető hidromorfológiai tényezők, mint például a víz mélysége, az áramlás sebessége, a hordaléktartalom vagy a mederanyag összetétele. Az ökohidraulika, vagy élőhely alapú hidraulika az ökológia és a hidraulika határán elhelyezkedve a vízi környezetbeli élő és élettelen, biotikus és abiotikus paraméterek között keres összefüggéseket. A tudományterület fő célja a hidrológiai és medermorfológiai változók és az élőlények térbeli előfordulása és mennyiségi viszonyai közötti kapcsolatok minél hatékonyabb számszerűsítése. Korszerű, a korábbiakban ismertetett vizsgálati módszerekkel a víztestek hidromorfológiai paraméterei nagy térbeli és időbeli részletességgel meghatározhatók, ami alapján, kiegészítve azokat számítógépes szimulációkkal és a halállomány-összetételre vonatkozó elemzésekkel, kidolgozhatók ún. élőhely megfelelőségi mezők. Az élőhely térképek az egyes halfajok által preferált élőhelyek kiterjedésének térbeli és vízjárástól függő változásait is képesek leírni. Ilyen, terepi mérésekre, halmintázásra és számítógépes szimulációra épülő élőhely vizsgálati módszert mutat be Baranya et al. (2017) cikke, ahol egy dunai esettanulmányban a halelőfordulás és az abiotikus jellemzők (áramlási sebesség, vízmélység, mederanyag összetétel) között állítottak fel kapcsolatokat, majd ezek alapján vizsgálták a folyószakasz élőhely megfelelőségét. A módszer egyik kulcseleme az előbb említett, ún. megfelelőségi-index (SI) kapcsolatok felállítása, amely bemutatja, hogy egy 0-1 skálán az adott halfaj, egy adott életciklusában mennyire preferálja (0: nem, 1: nagyon) a vizsgált hidromorfológiai paramétert annak egy-egy intervallumában (pl. két halfajra mutat be ilyen összefüggéseket a 65. ábra). Ezen összefüggések ismeretében a jelen állapotokra kimutatható, sőt szimulációs eszközökkel, jövőbeli beavatkozások hatására megváltozó állapotokra előrejelezhető az élőhelyek területi eloszlása. Egy-egy ilyen térképet mutat be a dunai mintaterületre a 66. ábra.



65. ábra A feketeszájú géb (kék) és a német bucó (piros) halfajokra felállított vízmélység, áramlási sebesség és mederanyag összetétel alapú SI függvények.



66. ábra Élőhely megfelelőségi mezők középvízi állapot ($Q = 1450 \text{ m}^3/\text{s}$) esetén a feketeszájú géb (bal) és német bucó (jobb) fajokra.

8 Hivatkozások

Ádány Szilvia Alexandra 2015. A többsugaras mederfelmérési módszer vizsgálata a Duna példáján keresztül. Diplomamunka. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Andrási G. (2015) A Dráva horvát-magyar szakaszán a vízjárás és a mederdinamika vizsgálata. Doktori értekezés. Szegedi Tudományegyetem, Szeged.

Baranya Sándor, Fleit Gábor, Józsa János, Szalóky Zoltán, Tóth Balázs és Erős Tibor (2018). Halak élőhely preferencia vizsgálatának támogatása számítógépes hidromorfológiai modellezéssel. Hidrológiai Közlemény 98. évf. különszám.

BME (2019) Dráva hordalékmérés és morfológiai értékelés. A LIFE17NAT/HU/000577, „Bölcs vízgazdálkodás a Dráva mentén az ártéri erdők megőrzése érdekében” (Wise water management for the conservation of alluvial forest habitats along River Drava) projekt keretében készült magyar nyelvű projektjelentés.

BME (2020) A Dráva-folyó 0-236 fkm-ek közötti szakaszán jelentkező medersüllyedés okainak feltárása. A LIFE17NAT/HU/000577, „Bölcs vízgazdálkodás a Dráva mentén az ártéri erdők megőrzése érdekében” (Wise water management for the conservation of alluvial forest habitats along River Drava) projekt keretében készült magyar nyelvű projektjelentés.

Bruder A, Tonolla D, Schweizer S, Vollenweider S, Langhans SD, Wüest A (2016) A conceptual framework for hydropeaking mitigation. *Sci Total Environ* 568:1204–1212. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.032>

Burián, A., and Domány, A. (2019) Antropogén hatások a Drávai vízállásokra. Drávától a Balatonig. A Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság időszaki lapja. 2019. II. http://vpf.vizugy.hu/reg/ddvizig/doc/D_B_2019_II_vegleges_kk.pdf

Céréghino R, Lavandier P (1998) Influence of hypolimnetic hydropeaking on the distribution and population dynamics of Ephemeroptera in a mountain stream. *Freshw Biol* 40:385–399

Collas, F. P. L., Buijse, A. D., van den Heuvel, L., van Kessel, N., Schoor, M. M., Eerden, H., & Leuven, R. S. E. W. (2018). Longitudinal training dams mitigate effects of shipping on environmental conditions and fish density in the littoral zones of the river Rhine. *Science of the Total Environment*, 619–620, 1183–1193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.299>

DanubeSediment, 2019. Handbook on Good Practices in Sediment Monitoring. http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/27/c2280d98b61601620cadef5c591f7ea477d7fd8c.pdf

Friedl J, Naesby K (2014) Habitateignung der HyTEC-Versuchsanlage sowie Einfluss von Schwall. auf Wachstums- und Konditionsentwicklung von Jungäschen (*Thymallus thymallus*). Master Thesis. Institut für Hydrobiologie, Gewässermanagement (IHG), BOKU-Universität für Bodenkultur, p 142

Greimel F, Schülting L, Wolfram G, Bondar-Kunze E, Auer S, Zeiringer B, Hauer C. (2018) Hydropeaking impacts and mitigation. S. Schmutz, J. Sendzimir (Eds.), *Riverine Ecosystem Management, Aquatic Ecology Series, Vol. 8*, Springer, Cham

Habersack H., Baranya S., Holubova K., Vartolomei F., Skiba H., Schwarz U., Krapesch M., Gmeiner Ph., Haimann M. (2019a). Sediment Manual for Stakeholders. Output 6.2 of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Vienna.

Habersack H., Baranya S., Holubova K., Vartolomei F., Skiba H., Babic-Mladenovic M., Cibilic A., Schwarz U., Krapesch M., Gmeiner Ph., Haimann M. (2019b). Danube Sediment Management Guidance. Output 6.1 of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Vienna.

Hauer C, Unfer G, Holzapfel P, Haimann M, Habersack H (2014) Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. *Earth Surf Process Landf* 39(12):1622–1641.

ICPDR (2007). Joint Statement on Guiding Principles for the Development of Inland Navigation and Environmental Protection in the Danube River Basin. Vienna.

ICPDR (2013). Guiding Principles on Sustainable Hydropower. Vienna

Olsen N. R. B. (2018). SSIIM User's Manual. Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Environmental Engineering.

Remo, J. W. F., A. Khanal, and N. Pinter. 2013. Assessment of chevron dikes for the enhancement of physical-aquatic habitat within the Middle Mississippi River, USA. *Journal of Hydrology* 501:146-162.

Schwarz, U. (2019) Hydromorphology of the Lower DravaIn: Lóczy (Ed.) *The Drava River*, Springer Geography, Chapter 5, pp. 61-78. ISBN 978-3-319-92816-6

Sediment Research and –management at the Danube River: - Work package 3: Computer based sediment transport modeling, Budapest, Győr, Vienna, December 2014.

WU, W., WANG, S. S.Y. and JIA, Y (2000): Nonuniform sediment transport in alluvial rivers, National Center for Computational Hydroscience and Engineering School of Engineering, University of Mississippi, MS 38677, USA.

WWF (2002) Waterway Transport on Europe's Lifeline, the Danube. Angol nyelvű projektjelentés. Hozzáférés: <http://www.zinke.at/Zinke.data/Images/navstud.pdf>