



T3.1.2 Problémák elemzése - HU

Jelentés

SEDDON II (AT HU10)



BOKU – Wasserbaulabor
Errichtungs- und Betriebs-
Gesellschaft m.b.H.

 Bundesamt
für Wasserwirtschaft



Projekt vezetés:

Helmut Habersack¹, Sándor Baranya², Károly Gombás³, Jürgen Gruber⁴

Szerzők (AT): Sebastian Pessenlehner¹, Marlene Haimann¹, Markus Eder¹, Doris Gangl¹, Angelika Riegler¹ Helmut Habersack¹

Szerzők (HU): Sándor Baranya², Szilveszter Dömötör³

Kép az előlapon: IWA/BOKU

Bécs, Budapest, Győr, 2020. június

A projekt társfinanszírozója az „Európai Regionális Fejlesztési Alap”.



BOKU – Wasserbau Labor
Errichtungs- und Betriebs-
Gesellschaft m.b.H.

 Bundesamt
für Wasserwirtschaft



SEDDON II (AT HU10)

Sedimentforschung und –management an der Donau II

A Duna hordalékvizsgálata II

Jelentés

¹ Bécsi Természeti Erőforrások és Élettudományi Egyetem

Vízi, Légköri és Környezeti Tanszék

Vízépítési és Folyam kutatási Intézet (IWA)

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)

³ Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVÍZIG)

⁴ BOKU - Wasserbaulabor Errichtungs- und Betriebs-Gesellschaft m.b.H.

⁵ Bécsi Vízgazdálkodási Szövetségi Ügynökség

Vízépítési és Hidrometriai Áramlásmérő Kalibrálási Intézet



BOKU – Wasserbaulabor
Errichtungs- und Betriebs-
Gesellschaft m.b.H.

 Bundesamt
für Wasserwirtschaft

Tartalmi kivonat

Az alábbi probléma elemzési jelentés az ERFA CBC Ausztria-Magyarország 2014-2020 program keretében megvalósuló SEDDON II nevű projekt részeként készült.

A Duna és a folyóhoz kapcsolódó környezethez számos tevékenység és érdekelt kötődik: pl. árvízvédelem, vízenergia, hajózás vagy éppen az ökológia. A korábban teljesen természetes és vad folyót emiatt a 19. századtól jelentős antropogén hatások érték, amik különböző hidromorfológiai problémához vezettek. A projekt 3. munkacsomagjának a részeként az osztrák és magyar mintaterülethez kapcsolódóan elvégeztük a hordalékvándorláshoz kapcsolódó problémák feltárását azzal a céllal, hogy javítsuk a Duna hidromorfológiai állapotát.

A jelentésben kísérletet teszünk a két (osztrák és magyar) mintaterületen fellépő hasonló és eltérő folyamatok elemzésére, amelyek a különböző problémákhoz vezetnek. A jelentéssel továbbá az a célunk, hogy hozzájáruljunk olyan folyómérnöki műszaki beavatkozások tervezéséhez és optimalizálásához, amelyek képesek kezelni a többrétű problémákat, amelyekkel az érdekeltek szembesülnek és az emberi tevékenység okozta negatív hatásokat kompenzálni tudják.

Tartalomjegyzék

Tartalmi kivonat	1
1 Bevezetés	3
2 Hordalékvándorláshoz kapcsolódó folyamatok	3
2.1 Alaktani jellemzők és fizikai folyamatok alluviális folyókban	3
2.2 Víz- és hordalékjárás	6
2.3 Problémákhoz vezető hordalékvándorlási folyamatok	8
3 Az osztrák és magyar mintaterületek ismertetése	11
3.1 Hidromorfológiai és hordalék jellemzők	11
3.2 Folyószabályozás	13
3.3 Hajózás	15
3.4 Vízenergia	15
3.5 Egyéb fontos tényezők	16
3.5.1 Kotrás	16
3.5.2 Ivóvíz kitermelés	17
4 Problémák a Duna vizsgált szakasza mentén, Ausztriában és Magyarországon	18
4.1 Felső-Duna (Ausztria)	18
4.1.1 Folyószabályozásból adódó problémák	18
4.1.2 Hajózáshoz köthető problémák	23
4.1.3 Vízerőművekhez kapcsolódó problémák	25
4.2 Közép-Duna (Magyarország)	27
4.2.1 Folyószabályozásból adódó problémák	27
4.2.2 Hajózáshoz köthető problémák	36
4.2.3 Vízerőművekhez kapcsolódó problémák	39
4.3 Közös és eltérő problémák a Duna ausztriai és magyarországi szakaszán	43
5 Összefoglalás	44
Hivatkozások	45

1 Bevezetés

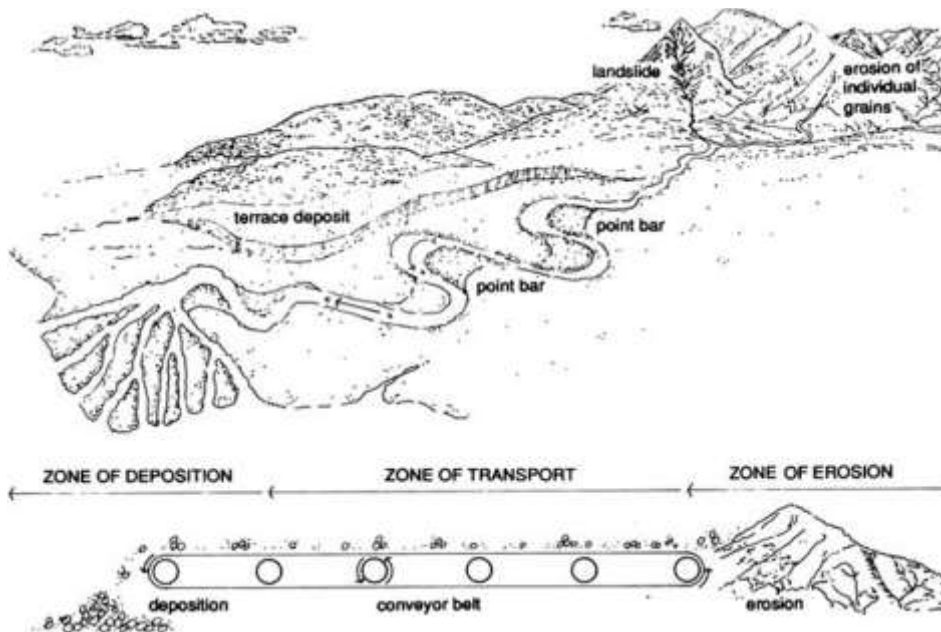
A sikeres és fenntartható folyógazdálkodás megalapozásához elengedhetetlen a hordalékvándorláshoz kapcsolódó problémák megértése. A Duna felső, ausztriai szakaszán és középső, magyarországi szakaszán számos olyan hordalékjáráshoz kapcsolódó probléma van, ami kihat – többek között – az ökológiára, az árvízgazdálkodásra, hajózásra vagy energiatermelésre. A projekt T3.1.1. kimenete azokat a problémákat gyűjti össze, amelyek a projekt két mintaterületén megjelennek, majd a T3.1.2 kimenetben ezekre alapozva végzünk elemzéseket.

2 Hordalékvándorláshoz kapcsolódó folyamatok

A következő fejezetben a hordalékvándorláshoz kapcsolódó folyamatokat és problémákat mutatjuk be, elsősorban a Duna ausztriai és magyarországi szakaszaira összpontosítva.

2.1 Alaktani jellemzők és fizikai folyamatok alluviális folyókban

Egy idealizált vízgyűjtő három fő részre osztható fel: az eróziós és a hordalék kialakulásáért felelős zóna (gyors, erős erózióval jellemezhető hegyvidéki területek), a hordalékszállító zóna (az a szakasz, ahol a szállított hordalék jelentős része jelentős veszteség nélkül jut át) és a lerakódási zóna (Schumm, 1977). A folyómederben a hordalék az eróziós terület felől vándorol alvízi irányba a végső (1. ábra), általában tengeri lerakódási helyig, görgetett hordalék és lebegtetett hordalék formájában (Kondolf, 1997).

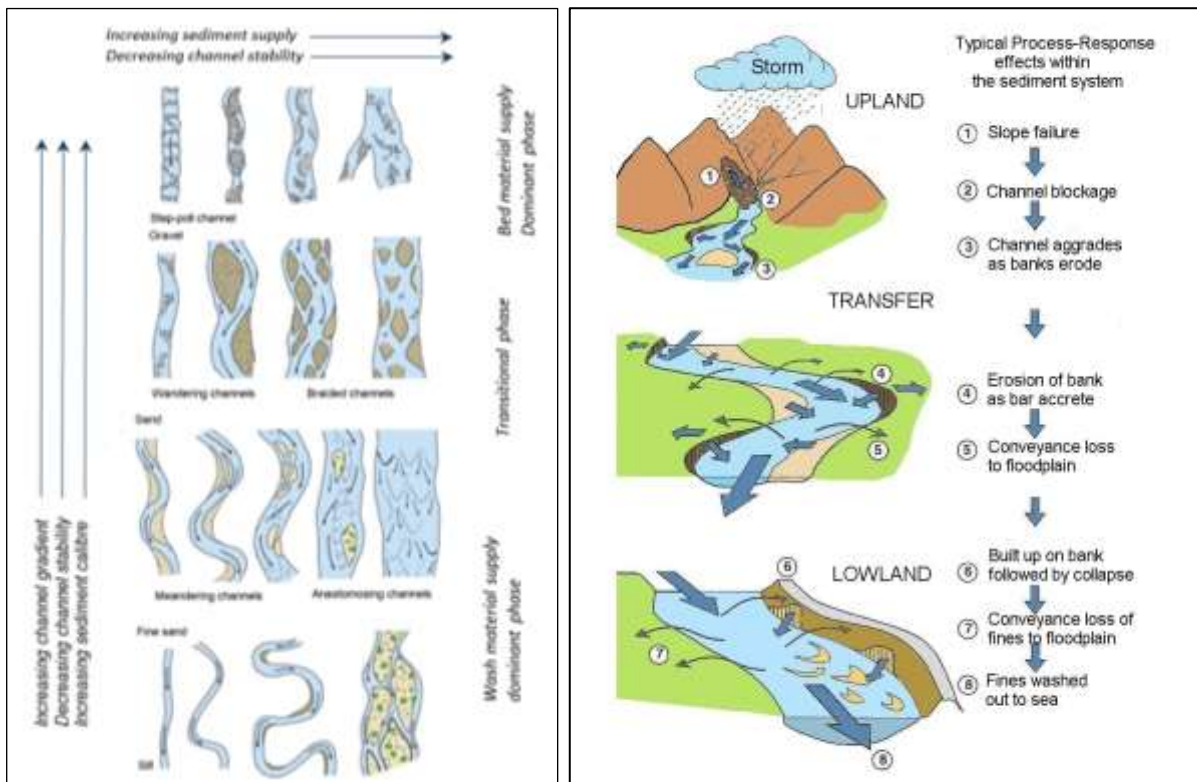


1. ábra A hordalék kialakulási, vándorlási és lerakódási zónák illusztrációja, a szállítószalag analógiáján keresztül (Kondolf, 1994).

A folyókban lejátszódó folyamatok sajátos alaktani jellemzőket hoznak létre a fent említett három, jól elkülöníthető felső-, közép- és alsó szakasz jellegű területeken. A vízfolyás felső szakasza általában nagy eséssel jellemezhető, ahol a függőleges erózió dominál, és szű, sekély, V-alakú szelvényeket vág bele a talajba. A vízgyűjtő felső részén és magában a vízfolyás medrében is jelentős mértékű, durva szemösszetételű hordalék keletkezik és vándorol alvízi irányba. A folyók középső szakaszán a függőleges erózió mérséklődik, a folyómeder szélesedik és mélyül, a meder esése csökken. Ezen a szakaszon már inkább keresztirányú erózió jelentkezik és hordaléklerakódás a mederben. Az átmeneti szakaszon a hordalékvándorlási folyamatok többé-kevésbé egyensúlyban vannak, az eróziós és hordaléklerakódási folyamatuk ún. dinamikus egyensúlyban vannak. A folyók alsó szakaszán jellemzően kisesésű, széles és mély meder alakul ki, ahol az oldalirányú erózió (parterózió, beomlások) és a hordaléklerakódás (szigetek és gázlók kialakulása) dominál a lecsökkent hordalékszállító képesség miatt. A mederanyag szemösszetétele és mintázata folyamatosan változik egy vízfolyáson mentén (alvízi finomodás), ahogy a felvíz felől érkező durva hordalék folyamatosan finomodik a kopás és a szeletív hordalékvándorlás eredményeként (Frings, 2004).

Természetes, dinamikus hordalékegyensúlyban lévő folyók alakja számos hordalék paramétertől függ, pl. hordalék szemcseméret, vagy hordalék utánpótlás (2a. ábra). A megemelkedő hordalékutánpótlás, megfelelő mederszélesség, esés és szemcseméret esetén pl. fonatos folyórendszer kialakulásához vezet. Rendkívül magas hordalékterhelés esetén (kavics vagy homok), ahol a domináns folyamat a hordaléklerakódás, általában gázlók alakulnak ki. Számos gázló típus létezik a különböző folyótípusok, pl. fonatos vagy fattyúágas,

függvényében. A folyómeder belső ívein kialakuló övzátonyok kialakulása pl. meanderező és szinuszos folyóalakzatokra jellemző. A hordalékfolytonosság megszakítása a fonatos ágrendszer egy főmederré alakítja át, és a hordalékutánpótlás hiánya a folyó szűkülésén és kiegyenesedésén keresztül a lerakódásra jellemzők formák eltűnését okozzák, korlátozva a keresztirányú eróziót és mederváltozásokat.



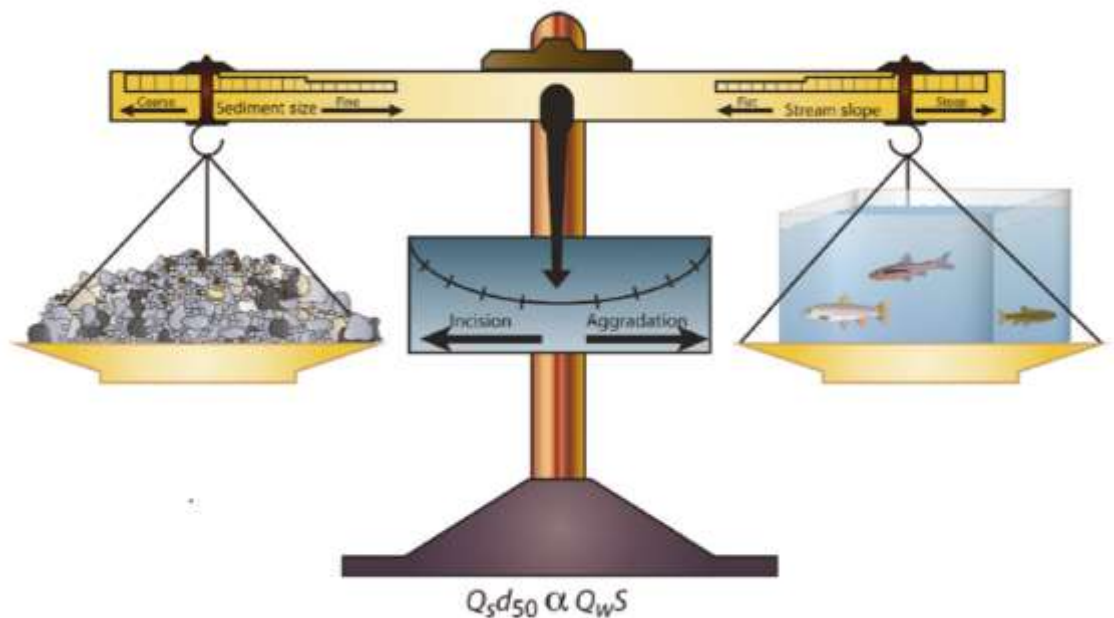
2. ábra a) Tipikus folyóalak mintázatok a hordalékjellemzők függvényében (Church, 2006); b) Jellemző kölcsönhatás folyamatok folyami hordalékrendszerekben (Sear and Newson, 1993)

Folyami hordalékrendszerekben jellemző kölcsönhatás folyamatokat mutat be a 2b ábra. Egy hegyvidéki területen kialakuló földcsuszamlás nagymennyiségű hordalékutánpótlást okozhat (1), ami a meder elzáródásához vezethet (2). Innen alvízi irányban a mederszint emelkedik és a part erodálódik, ami a meder szélesedéséhez vezet (3). A középső szakaszon a gázlók összenövése a parterózióhoz (4) és a finom hordalék hullámtereken való lerakódásához (5) vezet. Az alsó szakaszon a folyópartokon felgyűlt hordalék a mederbe jut és szakadó partok alakulnak ki, a főmederben pedig ennek következtében szigetek, zátonyok képződése indul meg (6). A hullámterek felé lecsökken a finom hordalék vándorlása (7), ami ehelyett a befogadó tenger felé jut (8).

2.2 Víz- és hordalékjárás

Az áramlás és a hordalékjárás közötti kölcsönhatás egy adott geomorfológiai helyzetben különböző folyóalaktípusok, keresztmetszvény alakok, hosszesés, hordalékösszetétel, mederérdesség és hordalékvándorlási jellemzők kialakulásához vezet.

Lane (1955) egy olyan általános kapcsolatrendszerét építette fel (3. ábra), ami a folyómeder mélyülési és emelkedési tendenciáit magyarázza az áramlási és hordalék jellemzők alapján. A $Q_s d_{50} \propto Q_w S$ kapcsolat a hordalékhozam (Q_s), a vízhozam (Q_w), a hordalék szemcseméretet (d_{50}) és a folyómeder hosszesése (S) közötti összefüggést adja meg.



3. ábra: Az alapvető, folyókban lejátszódó fizikai folyamatot meghatározó változók közötti kapcsolatok (Pollock et al., 2014 adopted from Lane, 1955)

Amennyiben a 3. ábrán jelzett arányok elmozdulnak, a folyó egy új állapot felé fog törekedni, ami a folyó morfológiai jellemzőinek, a hosszesésnek, a mederanyag és part szemösszetételének, a szállított hordalék mennyiségének és szemcseméretének megváltozását vonja maga után.

A folyómeder, egy adott időszakra (évek, évtizedek) jellemző stabilitását leginkább meghatározó tényezők a hordalékot szállítani képes víz mennyisége és a hordalékutánpótlás. Következésképpen, ha a víz- és/vagy hordalékutánpótlás megváltozik, a folyómeder alakja is rendszerint jelentős változáson megy keresztül. A változás mértéke függ az utánpótlás megváltozásától, pl. a hozzáfolyásokon vagy a folyó felvízi szakaszán. A folyómeder

lehetséges átalakulására kidolgozott elképzelésben Schumm (1977) ismertette a víz és hordalékjárás megváltozásának mederstabilitásra kifejtett lehetséges hatásait (1. táblázat).

Table 1 A víz- és hordalékjárás megváltozására bekövetkező folyómeder változások (Schumm, 1977)

Változás	Folyómeder alak	Változás	Folyómeder alak
$Q_s + Q_w =$	Mederszint emelkedés, meder instabilitás, szélesebb és sekélyebb meder	$Q_s + Q_w -$	Mederszint emelkedés
$Q_s - Q_w =$	Medermélyülés, meder instabilitás, szűkebb és mélyebb meder	$Q_s + Q_w +$	Nagyobb intenzitású folyamatok
$Q_s = Q_w +$	Medermélyülés, meder instabilitás, szélesebb és mélyebb meder	$Q_s - Q_w -$	Csökkenő intenzitású folyamatok
$Q_s = Q_w -$	Mederszint emelkedés, meder instabilitás, szűkebb és sekélyebb meder	$Q_s - Q_w +$	Medermélyülés, meder instabilitás, szélesebb? és mélyebb meder

Q_s hordalékhozam; Q_w vízhozam; + emelkedik; - csökken; = változatlan; ? bizonytalan válasz.

Szabadfolyású alluviális folyómedrek alakját az áramlás, a lebegtetett és görgetett hordalékvándorlási folyamatok közötti kölcsönhatások határozzák meg. A víz és hordalékutánpótlás közötti egyensúly határozza meg a mederszint emelkedési vagy berágódási tendenciákat. Mindkét bemeneti jellemző, a víz és a hordalék, időben jelentősen változékony.

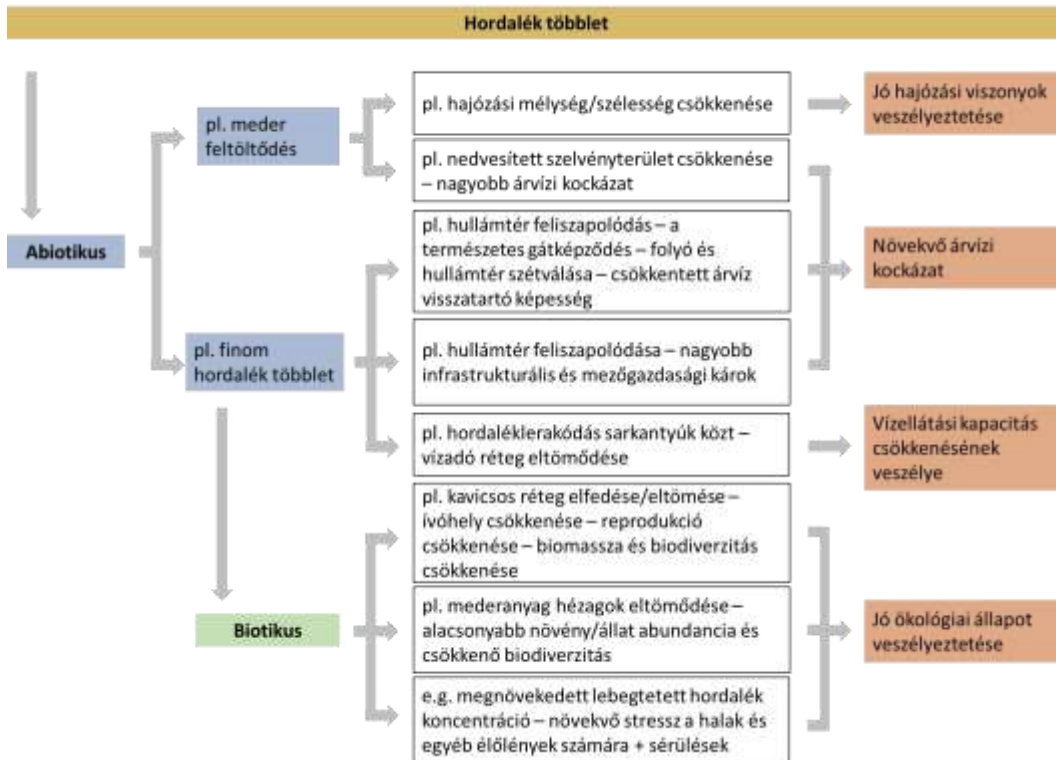
Egy folyó hordalékmérlegét egy adott szakaszra vonatkoztatva a belépő és kilépő hordalékmennyiség, a mederben, a partban, a zátonyokban és a hullámtéren tározott és a mobilizálható hordalék közötti csere alapján határozhatjuk meg. A hordalékmérleg vizsgálatnál figyelembe vesszük a kotrás, a hordalékbevezetés és a hozzáfolyások hatását is. A hordalékmérleg a hordalékjárás különböző elemeihez kínál egy sorrendiséget (Wohl et al., 2015) és segít meghatározni, hogy egy adott folyószakasz kiegyensúlyozott vagy kiegyensúlyozatlan.

- Hordalék egyensúly: Egy adott folyószakasz bizonyos időszaka alatt a beérkező és kilépő hordalék mennyisége megegyezik
- Hordalékhiány: több hordalék lép ki a folyószakaszból, mint amennyi felvízi oldalról beérkezik
- Hordalék többlet: A felvízi irányból érkező hordalék mennyisége meghaladja a hordalékszállító képességet

A hordalékjárás megváltozása gyors hatást fejthet ki a folyómeder alakjára, különösen árvizek során, és kihathat a folyó menti ökoszisztémára és emberi használatokra is. Az ökológiai folyamatok általában gyorsabban reagálnak, mint a mederalak változási folyamatok, így az ökoszisztéma rövidtávú javulásai nem feltétlenül jó indikátorai a sikeres folyó helyreállítási munkáknak vagy a hordalékgazdálkodási stratégia megváltoztatásának. A hordalékmérleg elemzése különösen fontos a folyó geomorfológiai állapotának feltárásánál és a folyóhelyreállítási tevékenységek értékelésénél (Habersack et al., 2019a), továbbá fontos szerepe van a hordalékgazdálkodási stratégiák kidolgozásánál, a megváltozott hordalékgazdálkodás- és jövőbeli beavatkozások hatásvizsgálatánál.

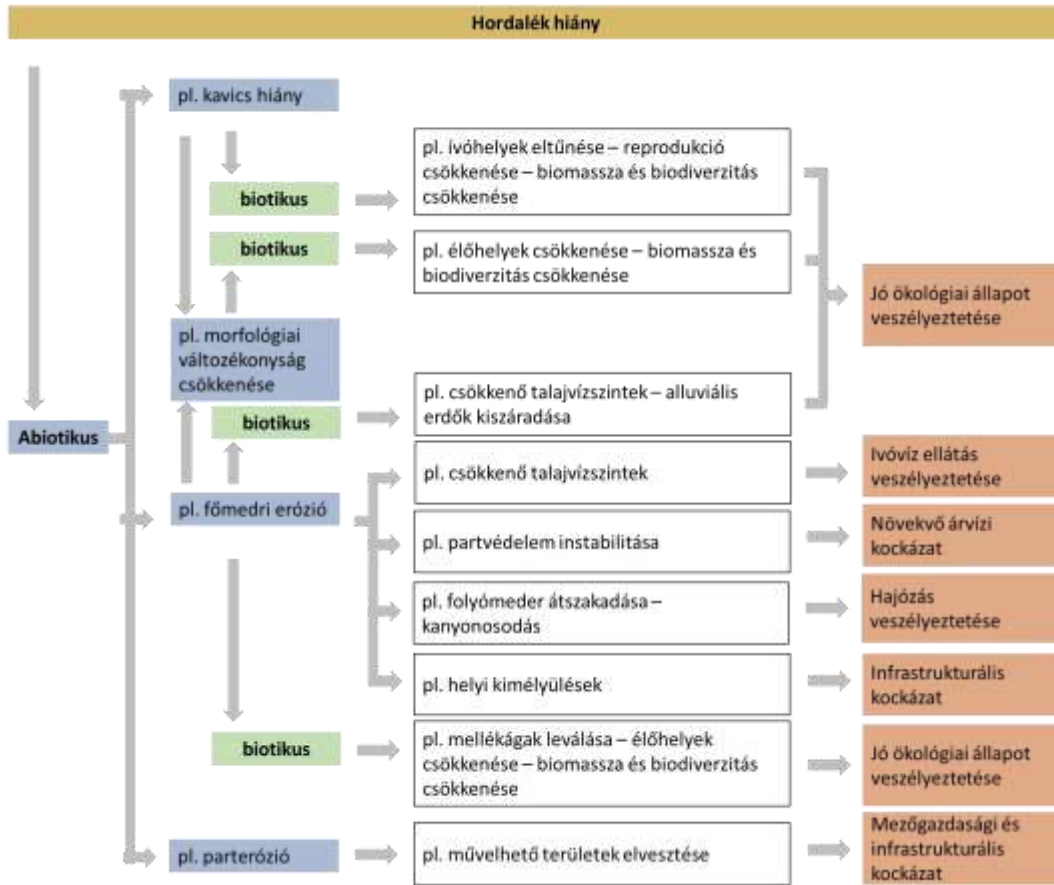
2.3 Problémákhoz vezető hordalékvándorlási folyamatok

Ok-okozati összefüggés van a hordalékvándorlás és a mederalak között, és ismert, hogy a hordalékegyensúly a dinamikus mederváltozások és a jól működő folyórendszer előfeltétele. Az is kétségtelen továbbá, hogy a kiegyensúlyozatlan hordalékjárás és megzavart folyó morfordinamika számos, jelentős negatív hatást válthat ki olyan jellemzőkre mint pl. talajvíz szint, élőhelyek, part stabilitás, hajóút mélység. Például, a dinamikus mederváltozás és az élőhely dinamika a jó ökológiai minőség előfeltétele, így közvetlenül meghatározza az ökológiai állapotot. A hordalék és a folyóban élő fajok kapcsolata kimutatható pl. az élőhelyeken és az ívóhelyeken keresztül. A jó ökológiai állapot nem elérésének kockázatán túl a kiegyensúlyozatlan hordalékmérleg más szektorok működését is veszélyeztetheti, mint pl. a hajózás, az árvíz védelem vagy az ivóvíz kitermelés. A 4. és 5. ábrák néhány példát mutatnak be arra, hogy a hordalékhiány vagy többlet és a kapcsolódó folyamatok milyen problémákhoz vezethetnek az egyes területeken.



4. ábra Példák a hordaléktöbbletethez kapcsolódó problémákról és veszélyekről

Egyensúlyban lévő hordalékjárás, ahol a hordaléklerakódás és erózió között dinamikus egyensúly áll fent, tehát alapvető fontosságú, amelyben az adott folyómederre jellemző mederformák és mederanyag szemösszetétel is szükséges összetevő. Mind a vízi élővilág mind a szárazföldi ökoszisztémák számára hasznos a kiegyensúlyozott hordalékmérleg és a dinamikus mederalakváltozás (Habersack et al., 2019b). Sőt, a kiegyensúlyozott hordalékmérleg az árvízi kockázat csökkentése, a megfelelő hajózási viszonyok és az ivóvíz kitermelés szempontjából is lényeges.



5. ábra Példák a hordalékhiányhoz kapcsolódó problémákról és veszélyekről

3 Az osztrák és magyar mintaterületek ismertetése

A következőkben a projekt ausztriai és magyarországi mintaterületét mutatjuk be, a hordalékhoz és hidromorfológiai jellemzőkhöz kapcsolódó hasonlóságok és eltérések ismertetésével.

3.1 Hidromorfológiai és hordalék jellemzők

Az osztrák és magyar Dunát a szabályozások előtt a „több-szálás fattyúágas” alaktípus jellemezte (6. ábra). Ausztriában a Duna a nagy energiatartalmú kategóriába került, ami csak néhány helyen volt megszakítva a szabályozott egy-szálás alakkal. A közös szlovák-magyar Duna szintén nagy energiatartalmú „több-szálás fattyúágas” alaktípussal volt jellemezhető, amir rövid vándorló típus követett. A tisztán magyar Duna szakasz már inkább alacsony energiatartalmú, néhány helyen megszakítva a szabályozott egy-szálás alakkal, majd a magyar Duna alsó szakaszán már az egy ágas meanderező alaktípus dominált.

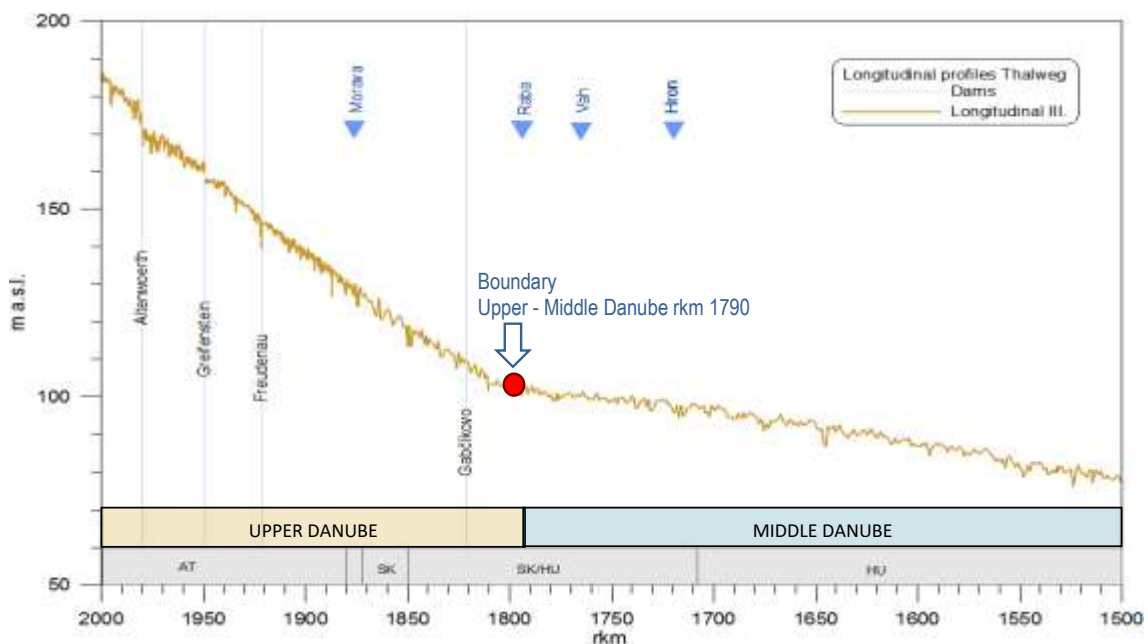


6. ábra A Duna alaktípusai (referencia állapot) (DanubeSediment, 2019a)

Napjainkban, mind Ausztriában mind Magyarországon a korábbi összetett folyóalak rendszert az egy-szálás szinuszos alak váltotta fel. A folyómeder két, jól elkülöníthető egységre osztható fel: főmeder és hullámtér, ahol utóbbi kiterjedése jelentősen csökkent mindkét országban. Ezek következményeként változó medermélyülési folyamatok játszódnak

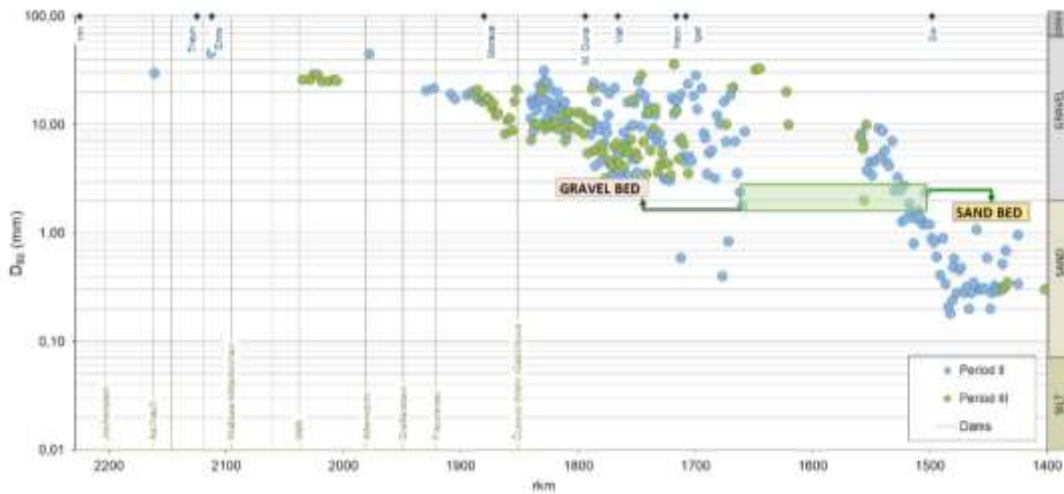
le, és a különböző természetes mederformák, zátonyok, szigetek, oldalágak és holtágak száma jelentősen csökkent a szabad folyású szakaszokon.

Gönyűnél (1790 fkm) található a felső és középső Duna-szakasz határa, ahol a folyó hosszúsága jelentősen csökken, 0.35%-ról 0.05%-ra (7. ábra). A meder hosszúságának csökkenése egyúttal a vízfelszín hosszúságának csökkenését jelenti, ami a mozgási energia és a hordalékszállító képesség csökkenését vonja maga után, így számos területen hordaléklerakódás jelenik meg. Az eséstörés alatti szakaszon a korábban fattyúágas alaktípus átmeneti vándorló alaktípussá változott (6. ábra).



7. ábra A Duna hossz-szelvénye a folyó 2000 és 1500 fkm szelvényei között és a felső és középső szakaszok közötti határvonal (DanubeSediment, 2019a).

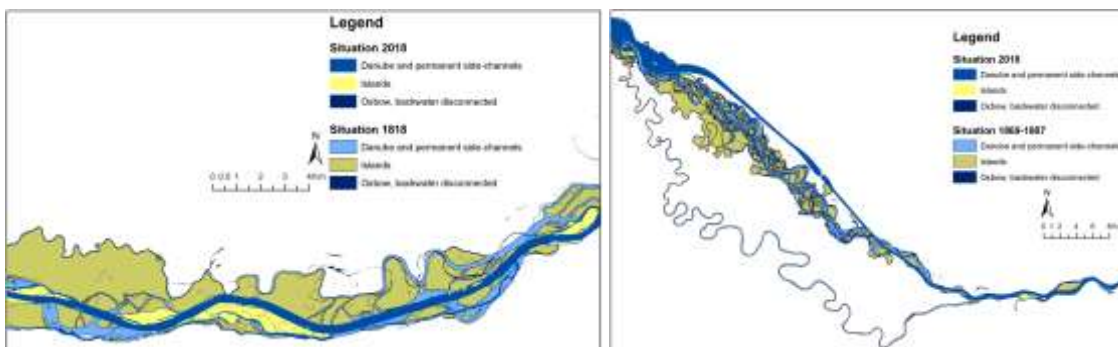
A hosszúság változása a mederanyag szemösszetételére is kihat. Az osztrák mintaterületen, Bőcstől keletre a mederben a kavics dominál, jellemző átmérője 21-23 mm. Magyarországon a Duna medre kavicsból homokba megy át, az átmeneti szakasz kb. az 1660-1420 fkm szelvények között található. Az átlagos szemátmérő a Duna középső szakaszán 4-30 mm között változik, az átmeneti szakaszon 0,3-12 mm, míg a homokmedrű részen 0,18-0,6 mm között alakul (DanubeSediment, 2019a).



8. ábra a mederanyag közepes szemétméretjének változása két időszakban (II: 1971-1990; III: 1991-2016) a Duna osztrák és magyar szakaszán (DanubeSediment, 2019a alapján)

3.2 Folyószabályozás

A Duna medrét jelentősen módosították az elmúlt évszázadban azzal a céllal, hogy csökkentsék az árvízi kockázatot, fejlesszék a hajózási viszonyokat, vízenergiát termeljenek (Habersack et al., 2016) és hogy új területeket vonjanak be településekbe és a mezőgazdaságba (Hein et al, 2016). A Duna jelentős részén a 19. század elején indultak meg az árvízi elöntések elleni és hajózási szempontú szabályozási munkák. Ennek eredményeképpen jelentősen megváltozott a folyó alakja (9. ábra) mind a Béctől keletre fekvő szakaszon (a Második Katonai Felméréshez viszonyítva), mind Gönyű térségében (a Harmadik Katonai Felméréshez viszonyítva).



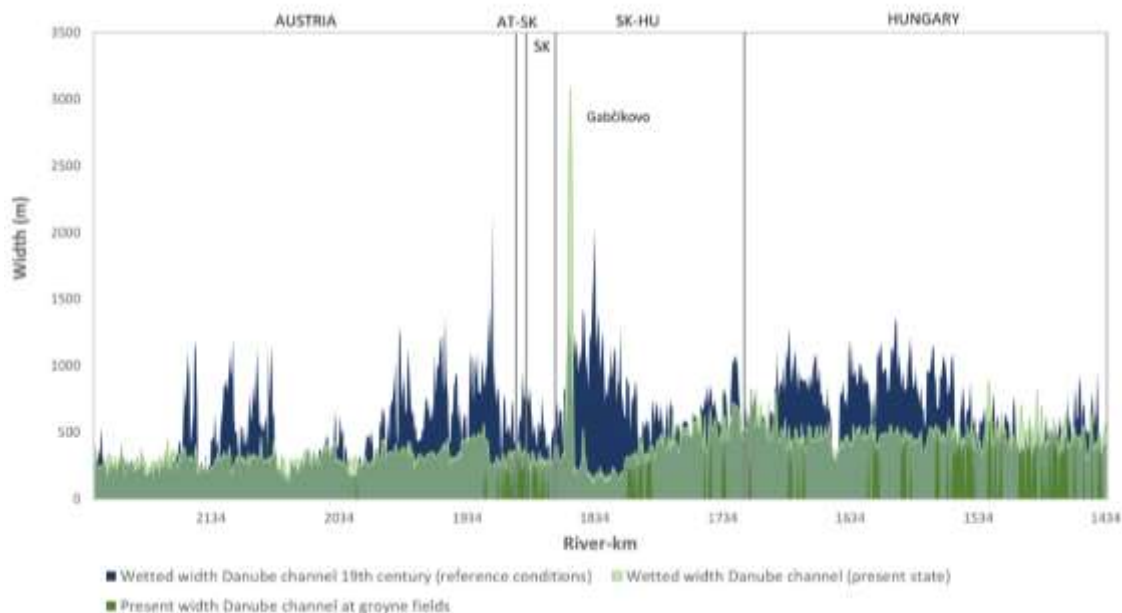
9. ábra A történelmi és a jelenlegi partvonalak összehasonlítása a két mintaterületen: bal: Béctől keletre (AT), jobb: Gönyű térsége (SK/HU) (DanubeSediment 2019a alapján)

1850 előtt csak helyi léptékű árvízvédelmi és hajózási célú beavatkozások történtek a Duna ausztriai szakaszán, melyeknek nem volt jelentős hatása a folyómederre. A rákövetkező

évtizedekben a szabályozási munkák már inkább folyószakasz léptékben folytak, az 1850-1950 közötti időszakban szisztematikus közép- és kisvízszint szabályozások végrehajtásával, aminek viszont már jelentős hatása volt mind a mederalakra mind a hordalékjárásra. A középvízszintek szabályozása váltotta ki a legnagyobb hatást, aminek eredményeképpen a Duna immáron kőszórásokkal biztosított partok közötti egyetlen főmederből állt.

Az árvízvédelemmel kapcsolatban elmondható, hogy a Duna meder jellemzően a 100 éves visszatérési idejű elöntésekre van kiépítve (Danube FloodRisk, 2013). A hullámtér rendszer kiterjedésének csökkenése és leépülése a vízvisszatartó képesség csökkenéséhez vezetett, megváltoztatva az elöntések gyakoriságát és hosszát (Habersack et al, 2016). A nagyvízi beavatkozások hatalmas elöntési területeket érintettek, pl. Magyarországon nem kevesebb, mint 3,7 M hektárnyi terület került bevédésre (ICPDR, 2020).

Különösen a Duna felső és középső szakaszán – beleértve a folyó német, szlovák és szlovák-magyar közös szakaszát – csökkent jelentősen a főmeder és hullámtér szélessége. Az ausztriai részen a teljes szélesség átlagosan 42%-kal csökkent (az aktív szélesség 24%-kal), a szlovák-magyar szakaszon ugyanez 48% (39%), míg a magyar szakaszon 40% (23%). A vezetőművek és sarkantyúk kialakítása a kisvízi meder szélességét tovább csökkentette (10. ábra).



10. ábra A folyómeder szélességének változása az osztrák és magyar szakaszokon: a 19. századi és a jelenlegi állapot (DanubeSediment, 2019a alapján).

3.3 Hajózás

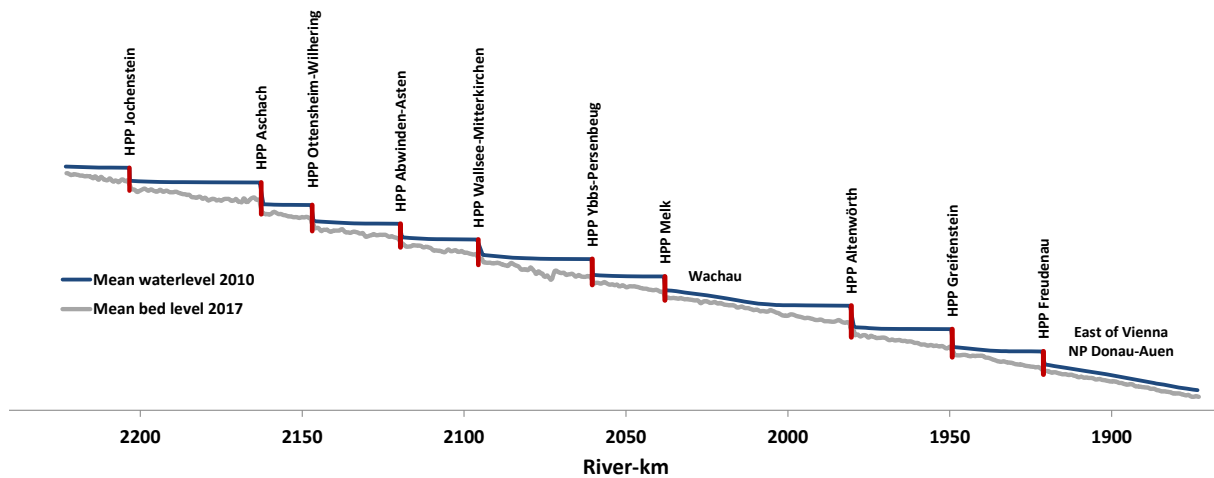
A Dunán a hajózás mindig is fontos szerepet játszott, amit egy nemzetközi bizottság szabályozott 1856-tól, majd 1948-tól a Duna Bizottság. A hajózási viszonyokra vonatkozó egyezmény (a Belgrádi Egyezmény) alapján lehetővé kell tenni a dunai hajózást minden kereskedelmi hajó számára bármilyen nemzet zászlója alatt is hajózik (viadonau, 2019). Sulina és Kelheim között, utóbbi a német szövetségi hajóút részeként, a Duna 2415 fkm hosszban, a folyó kb. 85%-án működik nemzetközi áruszállítási víziútként (viadonau, 2019).

A teljes áruszállítás a Dunán mintegy 79,5 Mt évente, ami tartalmazza az átmenő forgalmat is, mert részadatok nem állnak rendelkezésre. Ausztria, Románia és Szerbia mellett a legnagyobb áruforgalmat lebonyolító országok közé tartozik (ICPDR, 2015). Hosszú időre tekintve évente átlagosan 10 Mt árut szállítanak a Duna ausztriai szakaszán. Ennek kb. egyharmada érc és fémhulladék, míg az üzemanyag, mezőgazdasági és faipari termékek egyenként kb. a nyolcadát teszik ki a teljes áruforgalomnak (viadonau, 2019). Magyarországon a mezőgazdasági termékek teszik ki az áruforgalom jelentős részét, mögötte pedig az érc és a nyersvas a vas- és acélipar számára, majd a vas és acél termékek jönnek (Scholten and Rothstein, 2016).

A Duna régióban számos tényező befolyásolja a hajózási lehetőségeket: a Duna felső szakaszán pl. a hajóút mérete és kanyarulatai sugara, továbbá a hidak magassága korlátozó tényező, vagy pl. a hajózási szűkületek, nehéz hajózási viszonyokkal. Általában a kisvízi állapot a teljes folyószakaszra kihat, a legnagyobb problémák azonban a szűkületekben jelentkeznek, mert ezeknél áll elő a legkisebb vízmélység (pl. sziklás mederfenék esetén). Számos hajózási szűkület található a Duna osztrák és magyar szakaszán, ahol a megfelelő hajózási viszonyok eléréséhez szükséges minimum 2,5 méteres mélység (Muilerman et al., 2018) nem áll elő (Scholten and Rothstein, 2016).

3.4 Vízenergia

A folyó természetes hosszúsága a Duna felső szakaszán kedvez a vízerőművek kialakításának (Bachmann, 2010). A Duna ausztriai szakaszán tíz, sorozatban épített vízlépcső található (beleértve az osztrák-német határon megépített Jochensteini létesítményt is) (11. ábra). A tíz vízlépcsőből kilencet 1955 (Jochenstein) és 1984 (Greifenstein) között építettek, míg az utolsó, Freudenau-i vízlépcsőt 1997-ben adták át. A tározóterek hossza 16 és 41 km között változik (VHP, 2013). Mintegy 78%-a a Duna ausztriai szakaszának duzzasztott, míg a maradék 22%, 77 km, szabad folyású (NEWADA duo, 2014). Ausztria áramellátásának kb. 34%-át a dunai vízerőművek szolgáltatják (Wagner et al., 2015).



11. ábra Az ausztriai Duna-szakasz: a vízerőművek elhelyezkedése és a szabad folyású szakaszok Wachau-nál és Bécs-től keletre (mederszintek: VHP és viadonau, vízszintek és vízerőművek: viadonau (2012)).

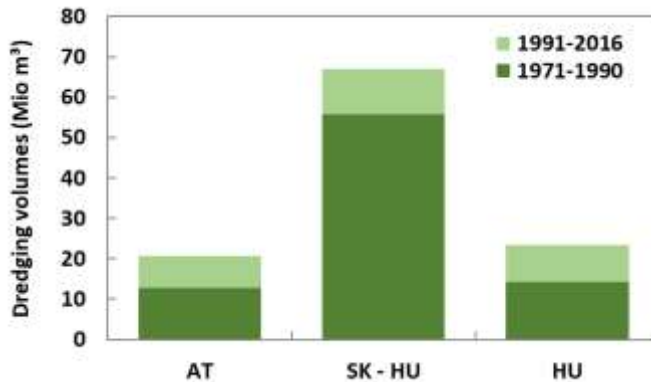
A Duna felső szakaszának avízi végén a bőszi vízlépcső Szlovákiában található, amelyet 1992-ben üzemeltetnek be. A bőszi vízlépcsőt egy megkerülő csatornán alakították ki, ami az Öreg-Duna felé mindösszesen 400–600 m³/s vízhozamot biztosít. Ennek köszönhetően mind a vízhozam, mind a hordalékjárási viszonyok jelentősen megváltoztak ezen a területen és innen alvízi irányban. A dunacsúnyi tározó területe 40 km², ami a folyó szlovák oldalán található. A duzzasztott tér hossza több mint 120 km, aminek a felvízi végén (kb. 1873-1758 fkm szelvények között) rakódik le a durva hordalék (görgetett hordalék), míg a magában a tározóban (1758-1751,75 fkm között) inkább a finom hordalék (lebegtetett: homok, iszap, agyag) ülepedik ki. A vízlépcsők által megakadályozott hordalékvándorlás jelentős hordalékhiányt okozott a folyó alvízi szakaszán.

3.5 Egyéb fontos tényezők

3.5.1 Kotrás

A múltban jelentős ipari kotrási tevékenységet folytattak a Duna mederben építőanyag kinyerés céljából (pl. épületekhez, utakhoz) (Habersack et al., 2019c). Az 1971-2016 közötti időszakban a folyó osztrák-szlovák-magyar szakaszán eléri a 110 M m³-t, amelynek nagyobb hányadát a jelzett időszak első felében termelték ki (12. ábra). A kikotort hordalék legnagyobb részét kereskedelmi célra használták. A folyó szlovák és magyar szakaszán a kikotort hordalék mennyisége gyakran meghaladta a folyó természetes hordalékutánpótlását. A kikotort anyagot jellemzően a görgetett hordalék teszi ki, amely a folyóba épített akadályok miatt már amúgy is jelentősen lecsökkent (Habersack et al., 2019c). Manapság már csak árvízvédelmi és hajózási céllal kotornak és a kotrási tevékenység

módja is megváltozott. Pl. addig, amíg 1996 és 2005 között a Duna osztrák szakaszán kikotort hordalék 30%-át teljesen eltávolították, 2006 óta a teljes kikotort mennyiséget visszaeresztik a folyóba (Habersack et al., 2019c). Sem Ausztriában, sem Magyarországon nem engedett már a kereskedelmi célú kotrás.



12. ábra Kikotort hordaléktérfogatok két időszakban

3.5.2 Ivóvíz kitermelés

A Duna vízgyűjtőjén számos vízi közmű szolgáltató használja a parti szűrésű vízbázisokat ivóvíz kitermelés céljából, vagy éppen ipari és öntözési célra (Natchkov, 1997). Ausztriában csak az ivóvíz kisebb része érkezik dunai parti szűrésű kutakból, pl. bécs ivóvízkészletének kb. 5%-át teszik ez ki (Vienna Water, 2020). Ausztriában a legfontosabb talajvíz tározók közül néhány a Bécstől keletre lévő szakaszon helyezkedik el, Marchfeld a bal part mentén, illetve Haslau és Petronell térségében a folyó jobb partja mentén. A talajvizet ezeken a területeken leginkább öntözésre, ivóvíz kitermelésre és ipari célú vízkitermelésre használják (Donauconsult, 2006). Magyarországon ezzel szemben az ivóvíz kb. 95%-át a felszín alatti vízadók biztosítják (MTA, 2017), amin belül a parti szűrésű vízbázisok 40%-ot tesznek ki, sőt Budapest szinte teljes ivóvízellátása erre épül. A parti szűrésű vízbázisok jellemzően a folyó felső és középső szakaszán találhatók, ahol a mederanyag kavics és homokos-kavics.

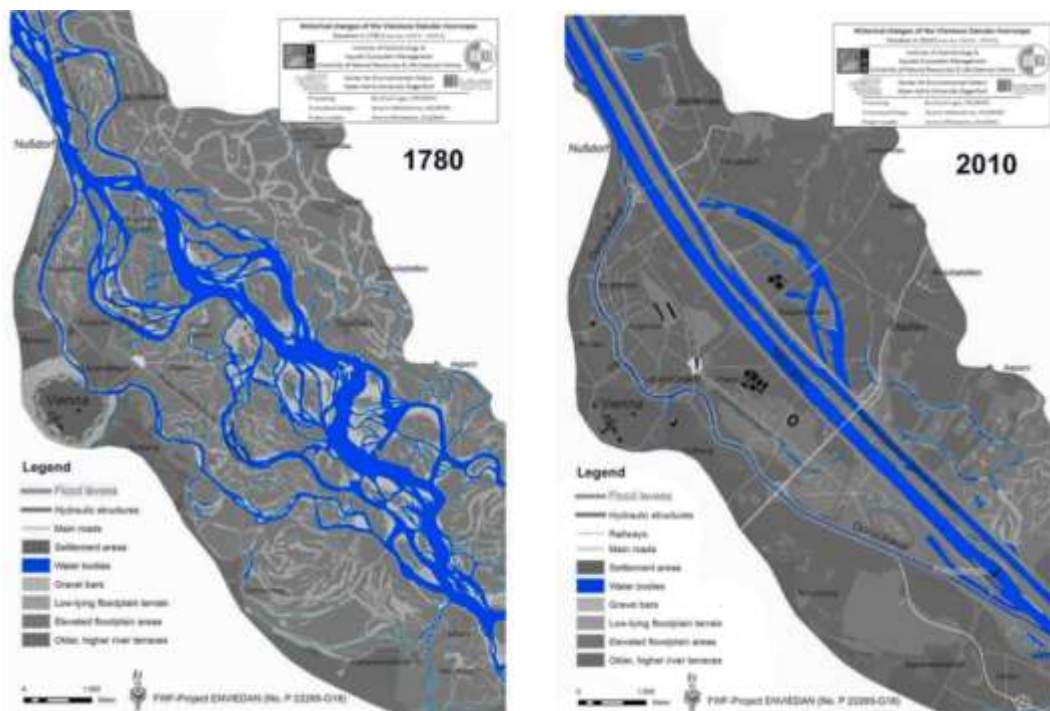
4 Problémák a Duna vizsgált szakasza mentén, Ausztriában és Magyarországon

4.1 Felső-Duna (Ausztria)

4.1.1 Folyószabályozásból adódó problémák

4.1.1.1 Árvízvédelem

A Duna felső szakaszain, valamint a középső szakaszának nagy részén megvalósított árvízvédelmi célú folyószabályozások hatására a folyó hidromorfológiai állapota megváltozott. Ennek tipikus példái az árvízvédelmi töltések építésével a folyóról leválasztott ártéri területek és mellékágak, amik jelentősen csökkentik a folyó természetes árvíz visszatartó képességét (13). További következmény a folyó hosszának és szélességének csökkenése, mely megnövekedett áramlási sebességekhez, fenék-csúsztatófeszültségekhez és így a folyómeder degradációjához is vezetnek (Habersack et al., 2015; Habersack et al., 2016).



13. ábra a) A bécsi Duna szakasz helyszínrajzi nézete 1780-ból és b) a jelenlegi állapot az emberi beavatkozások után (Hohensinner & Schmidt, 2012 után)

4.1.1.2 Folyószabályozás

A sarkantyúk és terelőművek nagyban hozzájárulnak a folyók hajózhatóságának javításához (pl. a szükséges vízmélység biztosítása), valamint a partok erózió elleni védelméhez, de

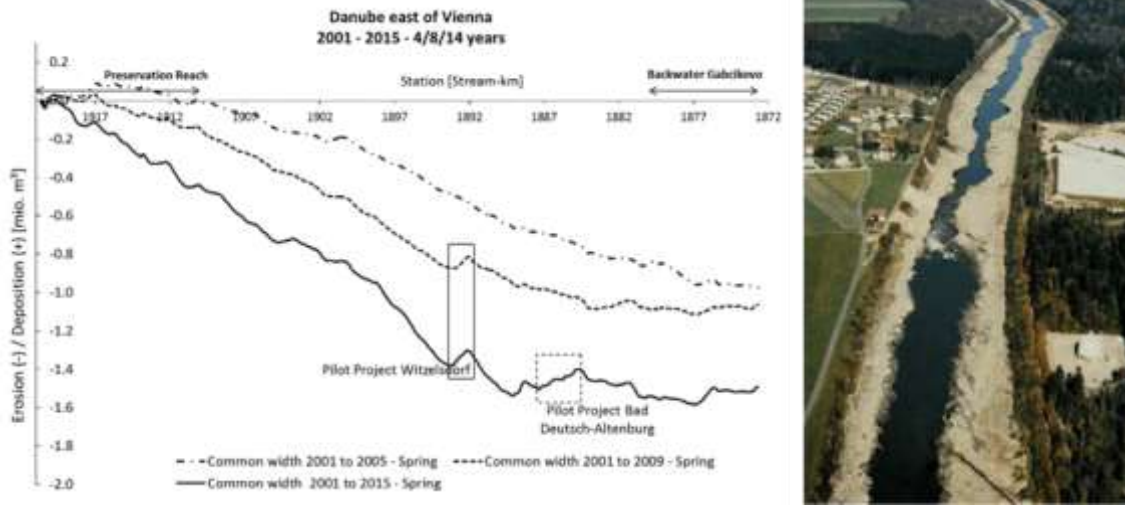
nagyon jelentős hatással vannak a lokális hidro- és morfordinamikai viszonyokra is. Ilyen művek építése relatív mély hajózható medret eredményez, azonban a rögzített part- és így nyomvonalak akadályozzák a keresztirányú, laterális morfordinamikai folyamatokat. Ennek következtében a főmedri erózió mértéke megnövekszik, míg a sarkantyúk közötti limányos területeken hordalékvisszatartás és lerakódás várható (Habersack et al., 2016; Glas et al., 2018; Ten Brinke et al., 2004).



14. ábra Sarkantyú középvízi állapotban (medermélyülés következménye) (Habersack et al., 2012)

4.1.1.3 Medermélyülés

A Duna felső, keresztezési műtárgyakkal szabályozott szakaszai döntően meghatározzák hordalékvándorlás folytonosságát és milyenségét. A kisvízfolyások hordalékfogó gátjai, valamint a Dunára és annak nagyobb mellékfolyóira létesített vízerőművek hatására Bécs után gyakorlatilag megszűnik a görgetett hordaléktranszport. Az ebből adódó hordalékhiány jelentős medermélyülésekhez vezet (15a ábra). Az 1996 és 2017 közötti mesterséges, kb. 186000 m³/év mértékű görgett hordalékutánpótlás ellenére (a közelmúltban 235000 m³/évre emelkedett) folyamatos, évi kb. 1-2 cm-es erózió továbbra is fennál. Az éves erózió mértéke lassuló trended mutat, a *viadonau* hordalékgazdálkodásában bekövetkezett változások (pl. kotrások) hatására (Pessenlehner, 2016). Ez a folyamatos medermélyülés növeli a folyómeder áttörésének esélyét is (pl. Salzach folyó, 15b ábra), ami akkor következhet be, ha a negyedidőszaki kavicsréteg teljesen elerodálódik és a Duna besüllyed a finomabb, üledékes rétegbe, ami végeredményben egy kanyon kialakulásához vezet (Habersack et al., 2016).



15. ábra a) Akumulált meder térfogatváltozás a Danán a Freudenu-i vízerőmű és a Szlovák határ közötti szakaszon (fkm 1920,6 – 1872,7) 2001 és 2015 között (Pessenlehner et al., 2017) b) folyómeder áttörés a Salzach folyón, Ausztria (WRS, 2000)

4.1.1.4 Partbiztosítás

A keresztirányú erózió hatásait mérséklő vízmérnöki beavatkozások (pl. partvédőművek, folyó nyomvonalának egyenesítése stb.) a védelmi feladatok ellátása mellett a hordalék keresztirányú folyóba jutását is gátolják. Ez, a főmeder megnövekedett hordalékszállító képességével együtt (Pozsonyi árvízvédelmi beavatkozások okozta főmederszűkítés, rövidítés, esés növekedés) szintén a mederszintek süllyedéséhez vezet (Habersack et al., 2016).



16. ábra A Duna bal partja Witzelsdorf térségében (felvízi irányba nézve) természetes állapotba való visszaállítás előtt (a) és után (b) 2009 (fotók: viadonau)

4.1.1.5 Folyó és ártér elválasztása

A Duna Béctől keletre fekvő, szabad folyású szakasza egy nemzeti park részét képezi, melynek növekvő nyomásokkal, valamint hosszútávon akár a veszélyeztetettséggel is szembe kell néznie. A különböző folyószabályozási művek (partbiztosítás, sarkantyúk stb.), valamint a felvízi oldalon visszatartott hordalék okozta deficit következtében a folyó a nemzeti park területén is csökkenő mederszinteket mutat, mely a terület talajvízszintjeinek csökkenését is magával vonta. Ezzel egy időben, a finom szemcséjű hordalék felgyülemlik a hullámtéren, ami az előzőkkel együtt, a partközeli zóna víztelenedését vonja maga után. A talajvízszintek csökkenésével együtt a vizenyős, lápos élőhelyek mennyisége, valamint a kapcsolódó flóra és fauna mennyisége is csökken. A talajvízszint süllyedése mennyiségi és minőségi romlást okozhat az ivóvízellátásban, valamint mezőgazdasági szempontból is számos problémához vezet (Habersack et al., 2016; Pessenlehner et al., 2016).

4.1.1.6 Leválasztott mellékágak

A mederszintek csökkenésének hatására a főmeder és az ártér/hullámtér, illetve a mellékágak közötti kapcsolat fokozatosan megszűnik. A mellékágak vízellátása gyakorisági és tartóssági szempontból is romlik, így azok jellemzően feliszapolódnak, kiszáradnak és végül ártéri erdővé alakulnak (Klasz et al., 2013).



17. ábra a) A Johler-mellékág Hainburg közelében b) középvízi állapot a mellékágban a mellékág visszacsatolását célzó pilot projekt előtt (fotók: Nationalpark Donauauen & viadonau)

2.1.1.8 Ökológia

A Duna Béctől keletre eső része eredetileg egy komplex, fonatos folyórendszert alkotott egy főmederrel, számos mellékággal és kiterjedt vizenyős, lápos területekkel tarkítva (Hohensinner et al., 2004). A jelenlegi és múltbeli folyószabályozások jelentősen csökkentették a folyószakasz komplex, dinamikus jellegét és így az élőhelyek változékonyságát is. A víztestek mérete, a sarkantyúkkal szabályozott területek nagysága, a partvonalak hossza és a szigetek száma mind drámaian lecsökkent. Az utóbbi években

számos a keresztirányú átjárhatóságot csökkentő akadály is megépítésre került a Dunán. Ezek a beavatkozások, illetve az általuk okozott változások az élőhelyek milyenségében és mennyiségében számos élőlény számára komoly kihívást jelentenek. A folyami halak például élőhelytípusok széles spektrumát használják különböző életszakaszaikban, így az emberi beavatkozások hatására a fajok sokszínűsége jelentősen csökkent (Reckendorfer et al., 2005) – már a dunai halfajok döntő többsége piros listás veszélyeztetett faj. Bár a Duna Bécs alatti szakasza egy nemzeti park része, a fel- és alvízi irányban is nagy számban épített duzzasztóművek és a helyi folyószabályozások eredményeként ökológiai deficit alakult ki. A nagy dunai tokok például teljesen eltűntek a felső-Dunáról, mivel a különböző keresztirányú műtárgyak akadályozzák a vándorlásukat (Keckeis and Schiemer, 2002). A hal biomassa – mint a jó ökológiai állapot indikátora az EU VKI szerint – jelentősen csökkent az utóbbi években: a 2007-es 248,4 kg/ha biomassa érték ma közelíti a veszélyes 50 kg/ha-os határértéket (Scheiblechner, 2018).

2.1.1.9 Rekreáció

Számos hordalékhoz köthető probléma van potenciálisan negatív hatással a Bécstől keletre eső Duna szakasz rekreációs lehetőségeire. A csökkenő vízszintek a hajózást befolyásolják kedvezőtlenül (Habersack, 2007; Habersack et al., 2016), ami így kritikus hatással van a hajózáshoz köthető turizmusra. A főmederről leválasztott ártéri területek, valamint mellékágrendszerek miatt az evezők számára is nehezebb a folyó megközelítése. A hal biomassa csökkenő mértéke pedig értelemszerűen a halászati és horgászati tevékenységeket befolyásolja kedvezőtlenül.

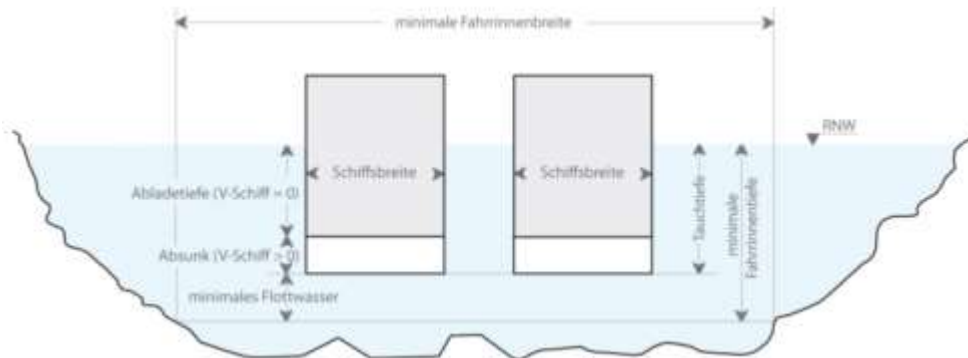
2.1.1.10 Vízellátás

A Duna Bécstől keletre eső területén három nagy felszínalatti víztest található – a Marchfield a bal parton; Haslau környéke; és a Petronell körüli területek (jobb- és balpart egyaránt), amik Ausztria keleti részének legfontosabb felszín alatti vízkészletei közé tartoznak. Ezeket a vízkészleteket számos célból használják: i) mezőgazdasági öntözés (pl. Marchfeld); ii) ivóvízellátás (Lobau Vízmű, Stadtgemeinde Schwechat); és iii) ipari célokra (OMV, Air Liquid, Borealis, Brauerei Schwechat). A széleskörű felhasználásból eredő gazdasági jelentőségen túl, ezek a vízkészletek környezeti szempontból is fontosak, így a mennyiségi és minőségi szempontok is kiemelt figyelmet követelnek (Donauconsult, 2006).

A folyó hordalékháztartásához köthető problémák, mint például a mederszintek és vízszintek csökkenése, a mellékágak feliszapolódása és főmederről való leválása mind komoly hatással vannak a kapcsolódó felszín alatti víztestekre és vízszintekre (Donauconsult, 2006).

4.1.2 Hajózáshoz köthető problémák

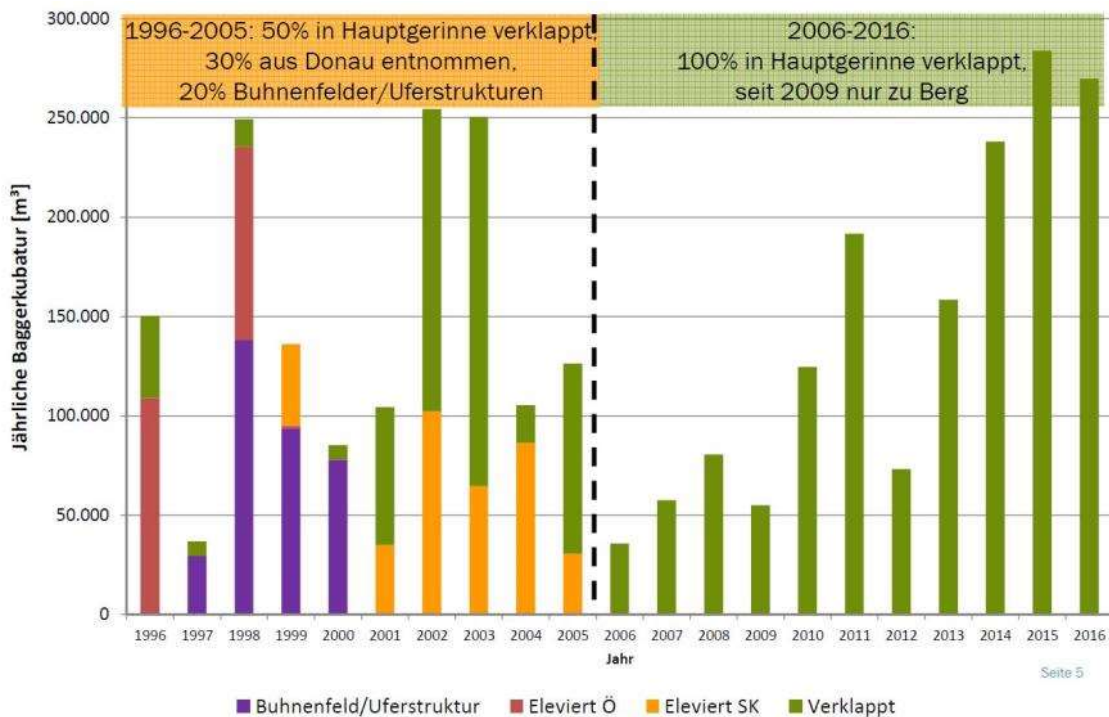
A Dunai hajózás növelése és fejlesztése erős gazdasági érdek. Fontos mindazonáltal megtalálni és megőrizni az egyensúlyt a hajózás igényei (2,5 m-es minimális vízmélység és 120 m-es szélesség kisvízi állapotban (18. ábra)), a hidro- és morfordinamikai illetve ökológiai állapotok között.



18. ábra Hajózási követelmények az Osztrák Dunán (Duna Bizottság, 2011)

4.1.2.1 Hidro- és morfordinamika

A hajózási célú folyószabályozások megnövekedett mederesésekhez és fenékcúsztatófeszültségekhez, így intenzívebb erózióhoz és hordalékvándorláshoz vezettek, ami végeredményben a mederszintek csökkenését eredményezte. A hajózási feltételek biztosítása érdekében számos gázlós területen van szükség aktív kotrási tevékenységre is (Habersack et al., 2016). 2005-ig a kitermelt mederanyag mennyiségének csak 50%-át engedték vissza a főmederbe, 20% a sarkantyú mezőkre, míg 30% végleg kikerült a rendszerből. 2005 óta az összes kikotort anyag visszahelyezésre kerül a főmederbe. 2009-től kezdődően a kitermelt mederanyagot felvízi irányba elszállítják és csak ott kerül visszahelyezésre a főmederbe; míg 2015 óta – egy új hordalék stratégia keretén belül – a szállítási távolság kb. 10 km-re nőtt, ezzel mérsékelve a Bécstől keletre lévő Duna-szakasz medermélyülési problémáit.



19. ábra Kotrások a Duna Bécstől keletre fekvő részén 1996-2016 – éves értékek és a kotrások céljai (Simoner & Berger, 2016)

4.1.2.2 Hajózási korlátozások kisvizes időszakban

A Duna számos szakaszán jelentkeznek hajózási problémák a hidrológiai és helyi hidromorfológiai viszonyok függvényében. A legnagyobb problémát azok a területek jelentik, ahol a hordalék lerakódás a teljes keresztmetszelen mentén megjelenik, kifejezetten kisvizes időszakokban, amikor 2,5 m-es hajózási mélység nem tud teljesülni. A hajózást fenntartása érdekében annak folyamatos karbantartása (pl. kotrása) szükséges (Habersack, 2007; Habersack et al., 2016).

4.1.2.3 Ökológia

A dunai hajóforgalom megnövekedése negatív hatással van az ökoszisztémára is. A hullámverés, illetve a hajók okozta leszívás (élőhelyek szárazra kerülése) és a nagy frekvenciájú hullámokhoz köthető áramlási sebességek közvetlen káros hatást jelentenek a halivadékok partközeli élőhelyeire. A hajózáshoz köthető hordalék felkeveredés, a megnövekedett fenék-csúsztatófeszültségek, illetve az esetleges szennyezések mind káros hatással vannak a vizes élővilágra és élőhelyek csökkenéséhez, megszűnéséhez vezethetnek (Kucera-Hirzinger et al., 2009, Liedermann et al., 2014, Schludermann et al., 2014).



20. ábra a) Hajó a Donauauen nemzetipark területén (fotó: IWA/BOKU) és b) hajózáshoz köthető leszívás hatására megjelenő ideiglenes élőhely csökkenés sematikus ábrája (Schludermann et al., 2014)

4.1.3 Vízérőművekhez kapcsolódó problémák

4.1.3.1 Tározók feliszapolódása

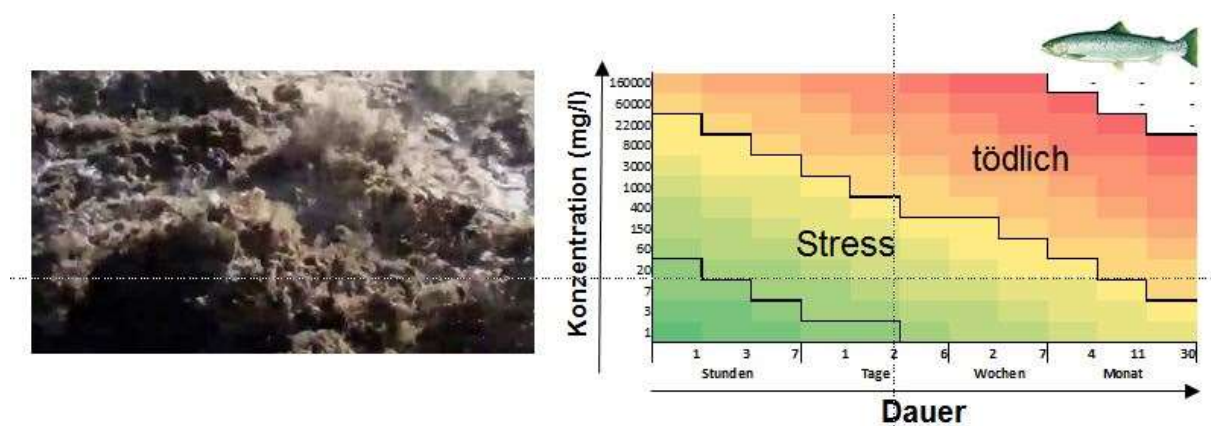
A víztározók/erőművek építése megzavarja a hordalékvándorlás folytonosságát, különös tekintettel a görgetett hordalékra, ami így a felvízi oldalon hordalék többletként, míg az alvízi oldalon hiányként jelentkezik. A tározók hordalékfogó hatékonysága változó a Duna menti vízérőművek esetén, az ugyanis nagyban függ a tározó méretétől, alakjától, mélységétől, valamint a vegetáció mértékétől és milyenségétől. Míg a tározók idővel tipikusan fokozatos feliszapolódást mutatnak, extrém nagy árvizek idején nagy mennyiségű finom hordalék képes felkeveredni és mobilizálódni. Ez nagy kontrasztot jelent a múltbeli, természetes állapotokhoz képest, amikor a hordalékvándorlás sokkal kiegyenlítettebben jelleget mutatott (Habersack et al., 2016). A tározótérek feliszapolódása az árvízi kockázat növekedését is maga után vonja (Habersack et al., 2013).



21. ábra Az Aschach-i vízérőmű a Dunán (fotó: Verbund AG)

4.1.3.2 Tározó öblítés

A feliszapolódás okozta tározótér csökkenés időnként szükségesség teszi a tározók öblítését, mely azonban drasztikus következményekkel lehet az élővilágra. A hirtelen megnövekedett hordalékhozam például eltömítheti a mederanyag pórusait, ami csökkenti a bentikus zónában elérhető oxigén mennyiségét. A tározó öblítés káros hatással lehet a halak és egyéb élőlények számára, valamint az élőhelyek csökkenését vagy változását is okozhatja (Jungwirth et al., 2003; Habersack et al., 2013; Habersack et al., 2016). Az alvízi ívó- és élőhelyek dinamikus változékonysága azonban megköveteli a hordalék tovább juttatását, így az öblítés intenzitása és időtartama mind meghatározzák annak hatását az ökoszisztémára.



22. ábra a) Tározó öblítés a Mur folyón (fotó: YouTube) és b) finom hordalék okozta stressz indikátor, a tartósság és koncentráció függvényében (ábra Newcombe & Jensen, 1996 után)

Tározó öblítése, vagy nagyobb árvizek esetén a finom frakciójú hordalék felkeveredhet és mobilizálódhat. A nagy mennyiségű remobilizálódott, elszállított majd újra kiülepedett hordalék később komoly problémákat okozhat a folyami ökoszisztémának, pl. növényzet légzésének nehezítése, ívóhelyeket alkotó durvább szemcséjű mederanyag eltömítése, valamint a hullámtéri területek feltöltődése (23. ábra). A hullámtéri hordaléklerakódás tovább növeli az árvízi kockázatokat.



23. ábra Hullámtéri hordaléklerakódás (fotó: Verbund AG)

4.1.3.3 Hordalékvándorlás folytonosságának megszűnése

Napjainkra mindössze öt szabadfolyású szakasza maradt a Dunának, ebből kettő Ausztriában (24. ábra). A nagymértékű beduzzasztott terület hatására, a folyó komoly hidrológia és hidraulikai változásokon ment keresztül. A folyó hordalékháztartási problémái egyre jobban észrevehetővé váltak, mint például a megszakított hordalék kontinuum; a tározók feliszapolódása; vagy a szabadfolyású szakaszokon megjelenő hordalék hiány (Habersack et al., 2016).



24. ábra: Az Osztrák Duna szakasz: vízerőművek helyei (piros) és a szabadfolyású szakaszok (zöld) (viadonau 2012).

4.2 Közép-Duna (Magyarország)

4.2.1 Folyószabályozásból adódó problémák

4.2.1.1 Árvízvédelem

Hasonlóan az ausztriai helyzethez, a Duna a XIX. században komoly vízmérnöki beavatkozásokon esett át, elsősorban az árvízi kockázat csökkentése érdekében. A folyó partján épített árvízvédelmi töltések, illetve a folyópartok stabilizálása csökkentették az aktív meder szélességét és hosszúságát is (25. ábra). Az ilyen beavatkozások fő eredménye a főmedri áramlási sebességek és így a fenék-csúsztatófeszültségek növekedése, ami – a görgetett hordalék hiányával együtt – a mederszintek süllyedését eredményezi. A főmeder geometriájának megváltozásán túl, a hullám- és ártér területhasználati viszonyai is sokat változtak. A XX. század közepéig ezeket a területeket és a szigeteket elsősorban legeltetésre használták. A hullámtér azonban legjobban sűrű erdőként jellemezhető, ami nagyobb vízhozamot terel a főmederbe árvizek idején. Annak ellenére, hogy a főmedri mederszintek és így a kisvízszintek folyamatosan csökkennek, az árvízszintek mégis növekvő trendet mutatnak (EDUVIZIG, 2014).



25. ábra a) A Magyar Duna-szakasz helyszínrajza 1782 és 1785 között (Első katonai felmérés) és b) a jelenlegi állapot a beavatkozások után (2018)

4.2.1.2 Folyószabályozás

A hajózási vízmélységek biztosítása érdekében hagyományos folyószabályozási művek, mint pl. sarkantyúk és terelőművek épültek, melyek célja a főmeder szűkítése és stabilizálása (26. és 27. ábra). A művek építésén túl, a hajózási szempontból kritikus szakaszokat folyamatosan kotorják is. A magyarországi felső szakaszon továbbá extrém mennyiségű kavics került

kitermelésre 1970 és 1991 között, lakóházak építése céljából. A 21 év alatt kicotort anyag mennyisége az 1810-1702 fkm-ek között eléri a 65 millió m³-t.



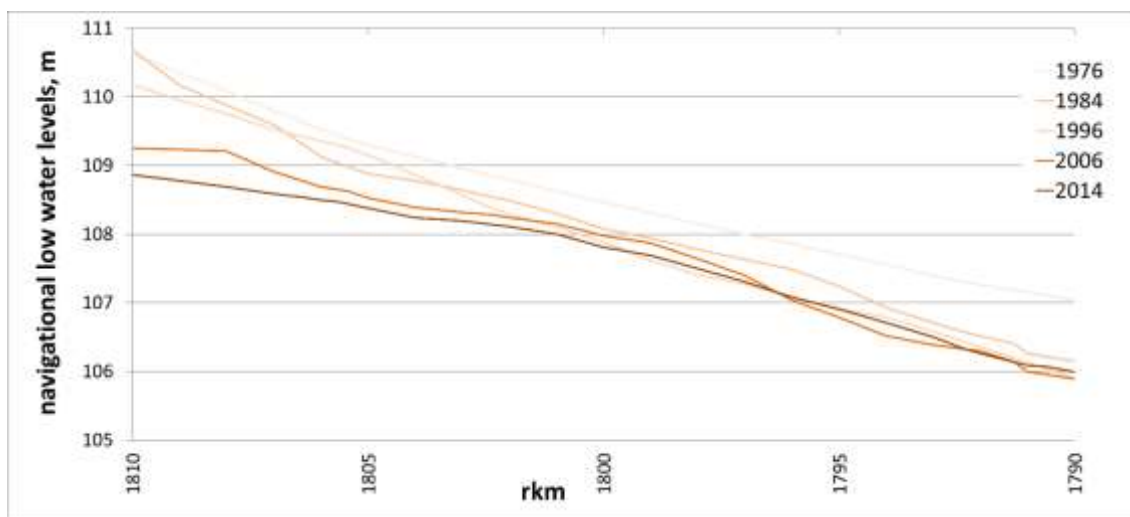
26. ábra Folyószabályozási művek kisvizes állapotban, az 1799-es fkm környékén (légi felvétel, 2011)



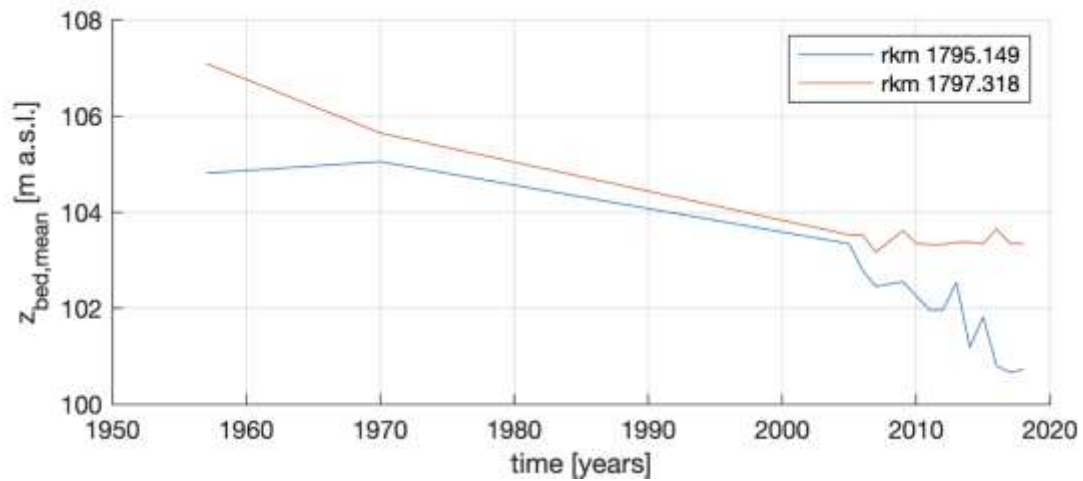
27. ábra Folyószabályozás művek az 1800-1790 fkm közötti szakaszon (forrás: eduvizig.hu)

4.2.1.3 Medermélyülés

Az utóbbi évtizedekben a főmeder jelentős mélyülése figyelhető meg a Felső-Magyarországi Duna szakaszon; a legdinamikusabb szakasz a Szap és Gönyű közötti szakasz, (1811-1793 fkm). A főmeder folyamatos eróziója az emberi beavatkozások következménye. Ahogy már korábban említettük, először az árvízi kockázatot csökkentő folyószabályozások történtek meg – a folyó mentén árvédelmi töltéseket építettek, valamint a partokat stabilizálták. Ezt követően a sarkantyúk és terelőművek épültek meg, a hajózáshoz szükséges mélységek biztosítása céljából. Ezt követte az 1970 és 1991 közötti nagymértékű (sok millió m³) házépítési célú kavicskitermelés. Ezekon a helyi jellegű hatásokon túl, a legfontosabb tényező a Bósi eróműhöz köthető szakadás a görgetett hordalék folytonosságában. A felsorolt antropogén hatások következményeként jelentős medermélyülés volt megfigyelhető az utóbbi évtizedekben. A jelenség jól tetten érhető a hajózási vízszintek időbeli változásán (28. ábra). Az átlagos mederszintek (hajózóútba eső rész) időbeli változását szemlélteti a 29. ábra. Az 1797,318 fkm szelvény egy tipikus gázlós területen, míg az 1795,149 fkm egy mélyebb folyókanyarulatban található. Az első esetén 1957 és 2007 között igen nagy csökkenés figyelhető meg, míg az utolsó évtized dinamikus egyensúllyal jellemezhető. Utóbbi esetén folyamatos csökkenő trend mutatkozik, rövidtávú változékonysággal a szárazabb és esősebb évek váltakozásának függvényeként.



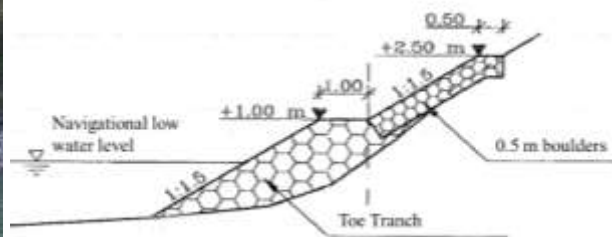
28. ábra Hajózási kisvízszintek változása (1810-1790 fkm), Magyarország



29. ábra Átlagos mederszintek (hajózóútba eső rész alapján számítva) a magyarországi felső-Duna két jellegzetes keresztaszvénében.

4.2.1.4 Partbiztosítás

A magyarországi felső-Duna döntő része partvédelemmel (kőszórással) biztosított, ami megakadályozza a meder keresztirányú erózióját (30. ábra). Ezek a művek tovább erősítik a főmedri eróziós folyamatokat.



30. ábra a) Partvédelem a jobb parton, Vámoszabadi térségében (forrás: ÉDUVIZIG) b) partvédőmű mintakeresztaszvénye (HU-SK Folyószabályozási terv 1996)

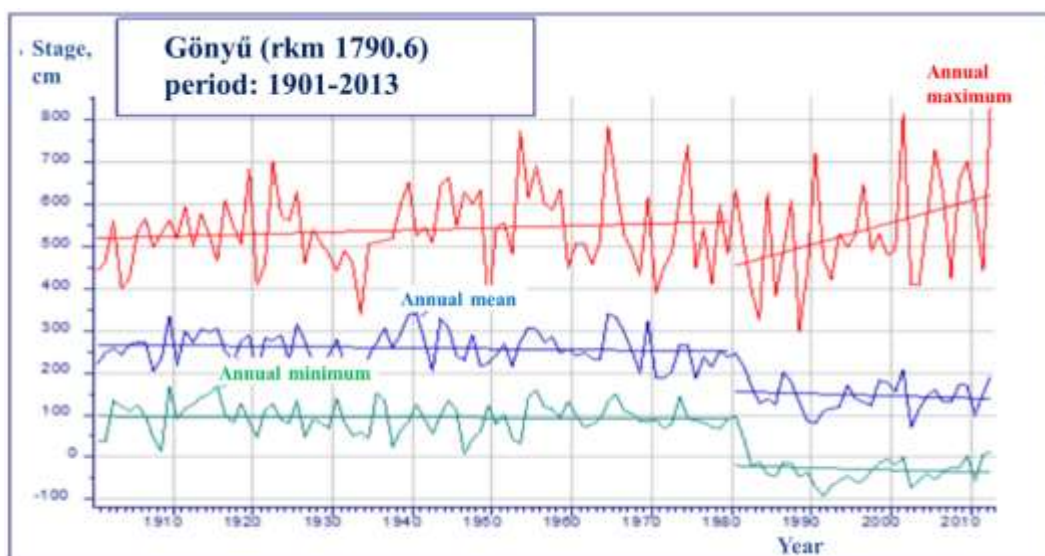
Így viszont, a természetes, biztosítatlan magaspartok sokkal inkább kitétek talajmechanikai szempontból (pl. partszakadás (31. ábra)). A folyómeder folyamatos mélyülése nagyban növeli az ilyen katasztrófák valószínűségét.



31. ábra Természetes folyópart Gönyűnél (forrás: www.gonyu.network.hu)

4.2.1.5 Folyó és ártér szétválasztása

Az ár- és hullámtereken erősödő növényzet hatására azok árvízlevezető képessége folyamatosan csökken, sőt, az árvizek során végbemenő hordaléktranszport folyamatok következményeként fokozatos feltöltődés is megfigyelhető. A hullámtér nagy ellenállása következtében a főmeder vízszállítása tovább nő, ami fokozza az erózió mértékét, különösen nagyvízi állapotokban. Ez hosszútávon a nagyvízi vízszintek emelkedéséhez és a kisvízszintek csökkenéséhez vezet (32. ábra); sőt utóbbi a talajvízszintek csökkenését is maga után vonja.



32. ábra Jellemző vízszintek időbeli változása Gönyű (Magyarország) szelvényében

4.2.1.6 Leválasztott mellékágak

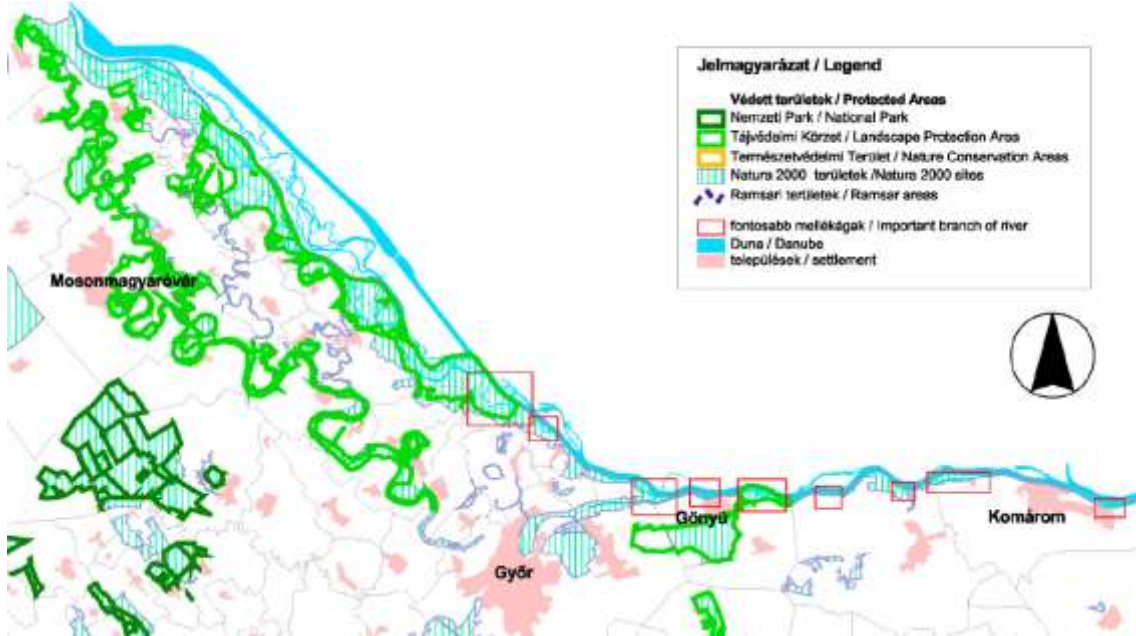
Hasonlóan a hullámtéri gondokhoz, a főmederi szintek csökkenése negatívan befolyásolja a kapcsolódó mellékágakat is. Sőt, a mellékágak ilyen leválasztása és feltöltése a klasszikus folyószabályozások eszközei voltak. A főmeder és a mellékágak közötti közvetlen kapcsolat tartóssága folyamatosan csökken, mint ahogy a mellékágakban lévő víz mennyisége is. A mellékágak (mesterséges) vízellátottságát tovább rontja az azt segítő átereszek folyamatos eltömődése.



33. ábra Feltöltődött mellékág Vének közelében (1798 fkm) (forrás: ÉDUVIZIG, 2018)

2.1.1.8 Ökológia

A teljes vizsgált magyar Duna szakasz Natura2000-es terület (a védett területekért ld. 34. ábra), ami növeli a romló hordalékviszonyokhoz kapcsolódó problémák jelentőségét. A folyamatos medermélyülés hatására a korábban sekély gázlós területeken erős növényzet képes kialakulni, ami így élő- és ívóhelyek megszűnését eredményezi. Az EU Víz Keretirányelve a magyarországi Duna legnagyobb részét „erősen módosított víztestként” jellemzi. A két kivétel Budapesttől felvízi irányban található; ezeket „természetes víztestekként” tartjuk számon. A magyarországi Duna-szakasz ökológiai állapotát és potenciálját a 35. ábra szemlélteti, a Duna Vízügyi Gazdálkodási Tervének megfelelően (2015) – a hajózási szempontból kritikus területekkel együtt.



34. ábra Védett területek a magyarországi felső-Duna mentén (forrás: ÖKO Zrt.)



35. ábra Felszíni vizek ökológiai állapota és potenciálja (forrás: Magyar NRBM Terv vázlat –2015)

A két természetes szakasz ökológiai állapota közepes; a jó ökológiai állapot elérése a becslések szerint 2027-re lehetséges. Az erősen módosított víztestként való osztályozást elsősorban a partok burkoltsága adta, amit biológiai tényezőkkel támasztottak alá. Az erősen módosított víztestek esetén komoly intézkedések szükségesek a jó ökológiai potenciál eléréséhez. Az egyik legfőbb ökológia problémát a hullámtér és a mellékágak leválása és kiszáradása okozza, ami az élőhelyek területének csökkenését és eltűnését eredményezi.

2.1.1.9 Rekreáció

A Duna mederszintjeinek és kisvízszintjeinek csökkenése maga után vonja a mellékágak vízszintjeit is, mint például a Mosoni-Dunáét, ami a magyar mintaterületen található. A vízszintek kritikus csökkenése limitálja a partszakaszok rekreációs, illetve sport célú használatát (36. ábra). A probléma a Mosoni-Duna mentén fekvő Győr városának (Észak-Nyugat Magyarország legfontosabb városa) közelsége miatt, sok állampolgárt érint.



36. ábra A Mosoni-Duna kisvízes állapotban, Győrben (forrás: www.kisalfold.hu)

2.1.1.10 Vízellátás

Magyarország ivóvizének 95%-a felszín alatti vízkészletekből ered (MTA, 2017), aminek nagy részét (40%) parti szűrésű kutak adják. Ilyen parti szűrésű kútrendszerek találhatóak a magyarországi Duna felső és középső szakaszán, ahol a mederanyagot elsősorban kavics és homok alkotja. A klasszikus folyószabályozások negatív hatással lehetnek ezen vízkészletekre mind mennyiségi, mind minőségi szempontból. Míg a folyómeder kotrása a vízadó réteg vékonyodását eredményezi, a sarkantyúzott területek feliszapolódásával jelentősen csökken a vízadó réteg vízáteresztőképessége, ami a kitermelhető hozamok csökkenését vonja maga után.

4.2.2 Hajózáshoz köthető problémák

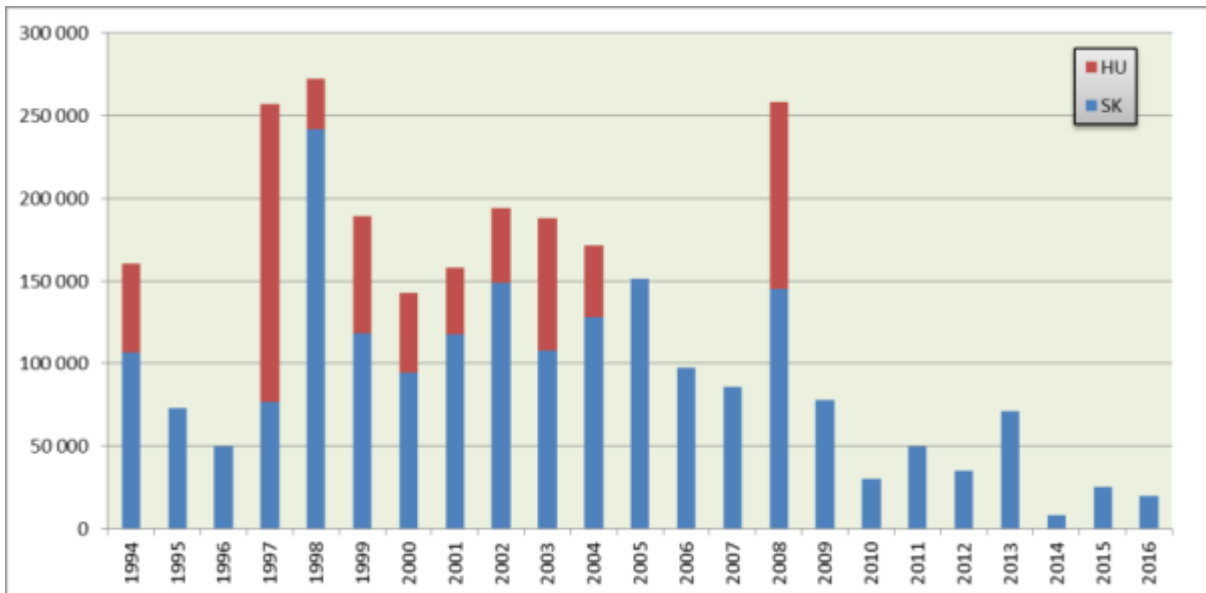
A közúti és vasúti teherszállítás telítődése miatt nagy gazdasági és közérdek övezi a dunai hajózás növelését. Mindazonáltal fontos megtalálni és megőrizni az egyensúlyt a hajózás igényei (2,5 m-es minimális vízmélység és 120 m-es szélesség kisvízi állapotban), a hidro- és morfordinamikai, illetve ökológiai állapotok között.

A hajózóút méretei a Duna Bizottság ajánlása és az EU AGN Egyezség alapján lettek meghatározva. Az AGN egy nemzetközi jogi keretrendszert képez, amivel egy koordinált tervet fektet le a nemzetközi jelentőségű hajózóutak és kikötők fejlesztésére. A tervek egyeztetett infrastrukturális és üzemeltetési paraméterek alapján készülnek. Az egyezség hangsúlyozza a vízi teherszállítás fontosságát, ami a szárazföldivel szemben számos gazdasági és környezeti előnnyel jár, és így hozzájárulhat a közlekedési balesetek, torlódások és káros környezeti hatások csökkentéséhez a pán-Európai közlekedési rendszerben.

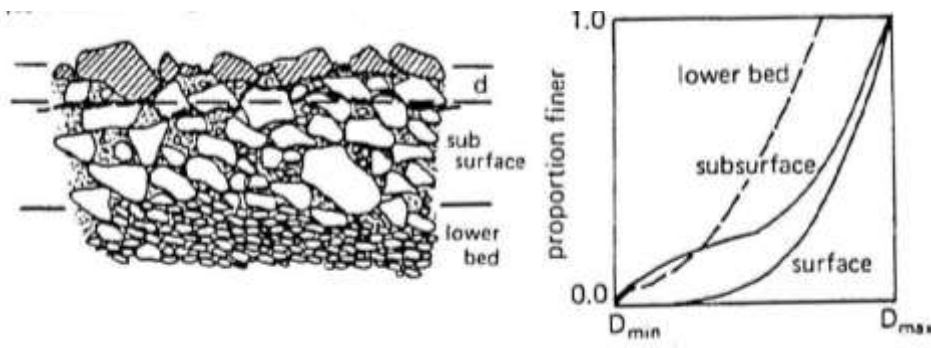
A Duna Bizottság elkötelezett a Dunai hajózási feltételek fenntartásával és fejlesztésével a németországi forrástól, egészen a romániai és ukrainai torkolatokig. 1948-ban alapult hét Duna-menti ország részvételével, korábbi bizottságok felváltásaként. Az azt megelőző bizottság az első között volt, mely a szuverén államok rendőri erőinek közös ügy érdekében történő nemzetközivé tételét megkísérelte. Javaslatokat tettek a hajózóút minimális paramétereire, illetve egyéb vízpítési és a Duna fejlesztését illető kérdésekben is (dok. CD/SES/77/11 hatályba lépés: 2013. január 1.)

4.2.2.1 Hidro- és morfordinamika

A hajózóút fenntartása érdekében mindkét ország folyamatos kotrásokat végez a Duna közös HU-SK szakaszán. A kitermelt anyag mennyisége azonban folyamatosan csökken az egyre szigorodó környezeti követelményeknek megfelelően (37. ábra). A folyómeder kotrásának eredményeként eltávolításra kerülhet a legfelső – ez a szakaszon tipikusan – páncélozódott réteg is, így a mederanyagot alkotó finomabb frakciók is kitetté válnak az áramlásoknak (38. ábra). Ennek hatására lokálisan tovább fokozódik a görgetett hordaléktranszport. Hasonló a helyzet kisvízes állapotban, amikor nagy merülésű uszályok közvetlenül szakítják fel a páncélozódott réteget.



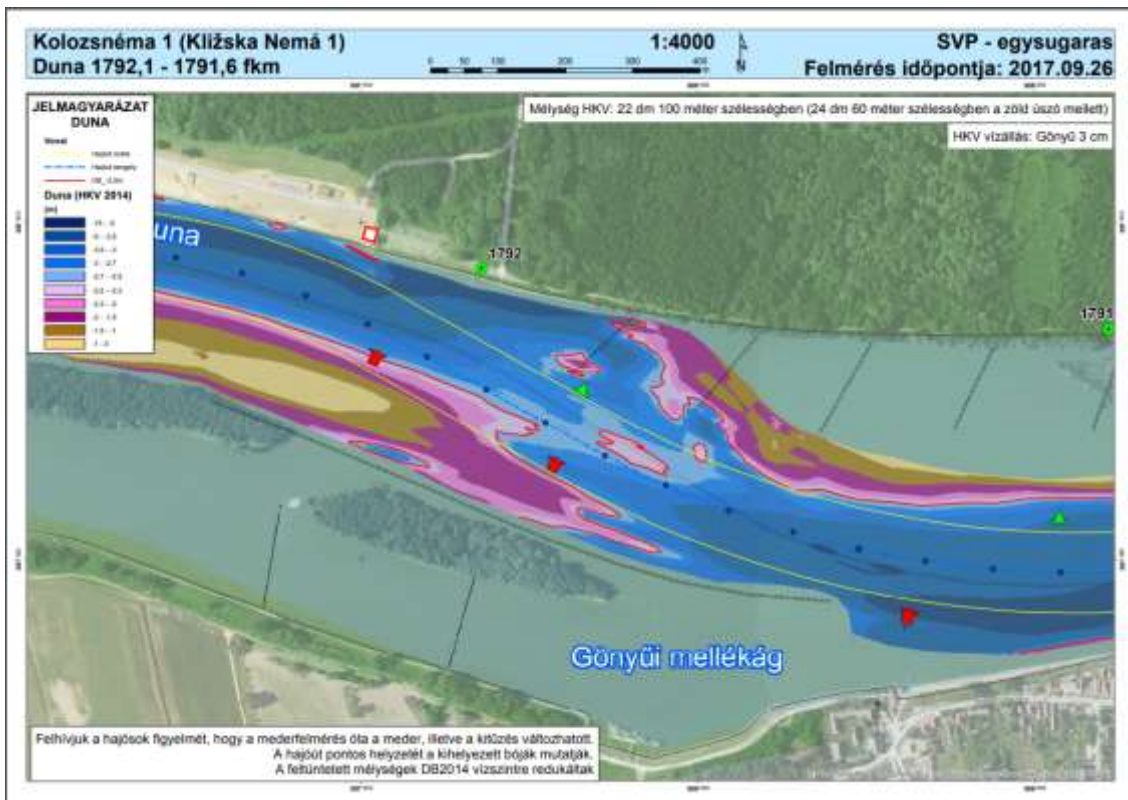
37. ábra Karbantartási kotrások (m³-ben) a HU-SK közös Duna szakaszon



38. ábra Páncélozódott meder tipikus rétegzettsége

4.2.2.2 Hajózási korlátozások kisvizes időszakban

A magyar mintaterületen számos olyan szűkület és gázló található, amik kisvizes időszakban hajózási korlátozások alkalmazását kényszerítik ki, mivel az előírt mélységek és szélességek nem teljesülnek. Az 1810-1790 fkm-ek között 12 rövidebb szakaszon található ilyen problémák (pl. 39. ábra).



jellemezhető hatással van a partközeli területekre, elsősorban a hajók keltette hullámzásokon keresztül.



40. ábra a) Hajó a Helemba-sziget közelében és b) kavicspad az 1709-es fkm-nél (fotók: ÉDUVIZIG)

4.2.3 Vízerőművekhez kapcsolódó problémák

4.2.3.1 Tározók feliszapolódása

Ahogy a korábbi pontokban már bemutatásra került, felső-Magyarországi Duna-szakasz állapota nagyon kitett a felvízi, Szlovák viszonyoknak, ahol vízerőművek találhatóak. A Bósi Vízerőmű tározójában (Hrušov) folyamatos hordaléklerakódás tapasztalható (41. ábra). Ahogy a DanubeSediment projekt (DanubeSediment, 2019) keretein belül bemutatásra került, a pontos számításokhoz szükséges domborzati adatok ugyan nem elérhetők, a WME (Water Management Enterprise) által közölt adatok szerint a teljes lerakódott anyag mennyisége kb. 20 millió m³.



41. ábra Hordaléklerakódási területek a Bósi Vízlépcső felvízi oldalán (Google Earth)

4.2.3.2 Tározó öblítés

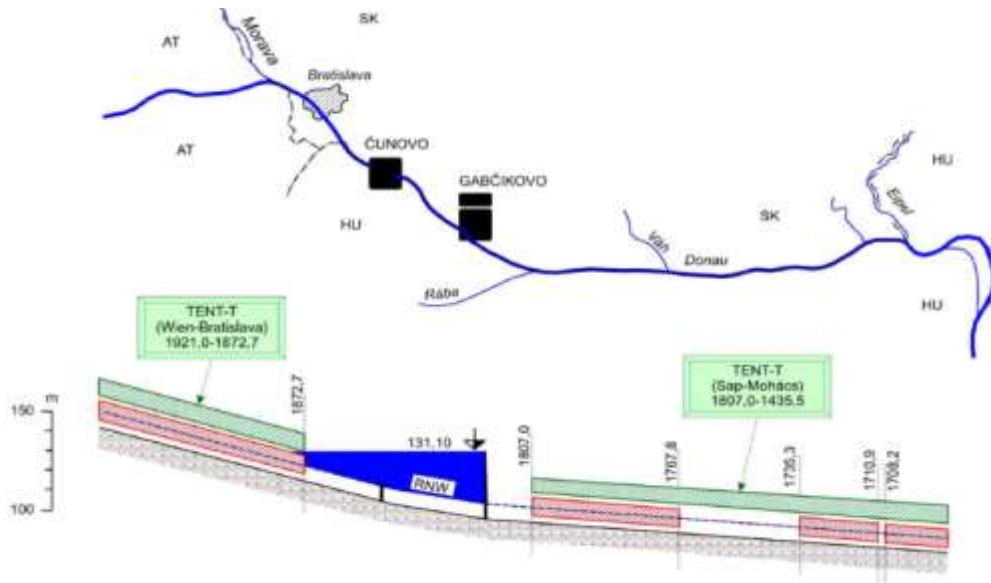
Nagy-, illetve árvizes időszakban nagyobb mennyiségű vízhozamot engednek az Öreg-Dunába a Szlovák vízerőművek felől. Ez nagyobb lebegtetett hordalékhozamot is jelent, ami végül a Szigetközbe kerül. A Szigetköz sűrű növényborítottsága miatt, az ide érkező hordalék jelentős része lerakódik, ami a hullámtéri terepszintek emelkedését eredményezi (42. ábra). Ugyan csak korlátozott mennyiségű információnk van ezekről a folyamatokról, az egyértelmű, hogy a vízlépcső üzemeltetéséből eredő többlet hordalékhozam komoly hatással lehet a folyó morfológiai állapotára, ami így befolyásolhatja az árvíz levezető képességet és az ökológiai állapotokat is.



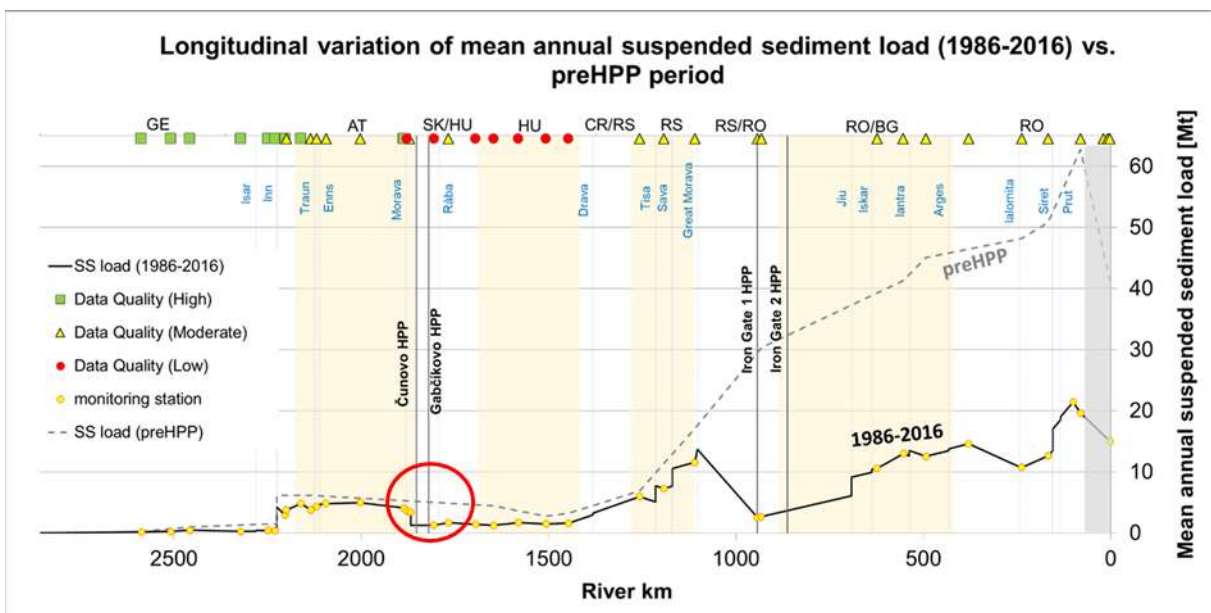
42. ábra Hullámtér feliszapolódása a 2013-as árvíz hatására (fotó: EDUVIZIG).

4.2.3.3 Hordalékvándorlás folytonosságának megszűnése

Ahogy a korábbiakban már említésre került, a magyarországi felső-Dunai viszonyokat nagyban befolyásolják a felvízi (Szlovák) vízerőművek (43. ábra), habár a Magyarországi Duna-szakasz teljes hosszában szabad folyású. Mind a görgetett, mind a lebegtetett hordalékhozamok egyensúlyában jól megfigyelhető változások vannak. A DanubeSediment (DanubeSediment, 2019b) projekt keretein belül végzett hordalékhozam elemzések kimutatták, hogy a Bósi vízlépcső lebegtetett hordalék visszatartó hatása közel 70%-os (ld. 44. ábra, piros kör). A vonatkozó adatok hiányában a duzzasztó görgetett hordalék csapdázó hatékonyságát nem lehet számszerűen értékelni, azonban az építését követő alvízi medererózió mértéke alapján világos ez a hatás is.



43. ábra A magyar szakaszhoz legközelebbi beduzzasztott víztér



44. ábra Lebetegedett hordalékhozam hosszútávú (1986-2016) éves átlaga összehasonlítva a vízerőművek üzemeltetését megelőző időszak értékeivel (adat forrás: AT: viadonau és Verbund)

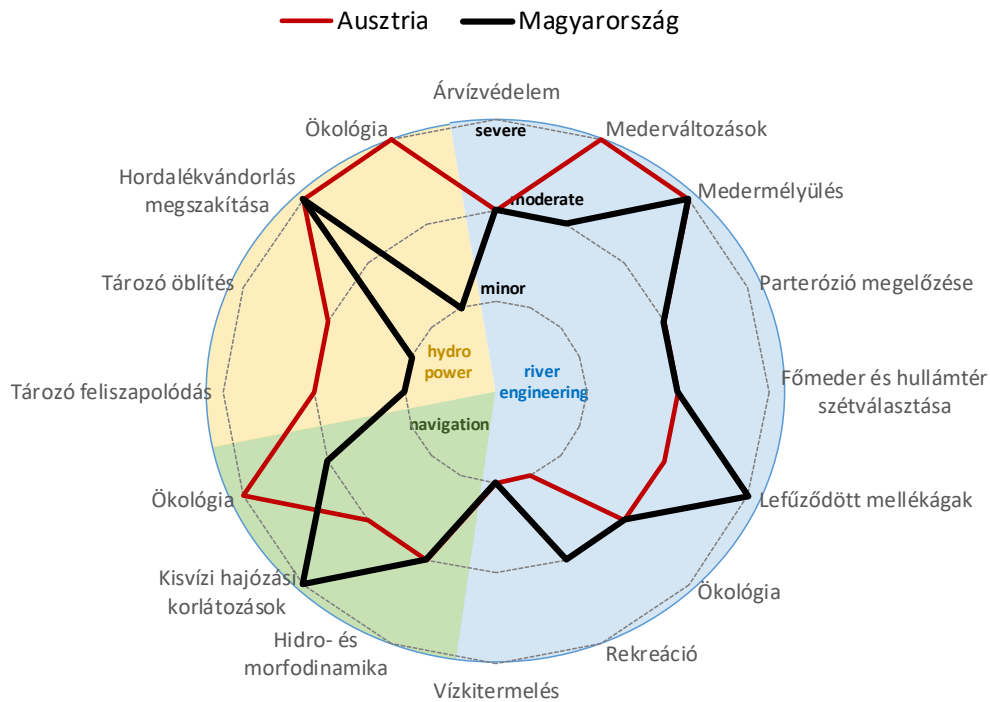
4.3 Közös és eltérő problémák a Duna ausztriai és magyarországi szakaszán

A jelentésben bemutatásra került, hogy mindkét vizsgálati terület jelentős hordalékhoz kapcsolódó problémákkal szembesül. A projekt mintaterületek bemutatásával és a releváns hordalékvándorlási folyamatok megértésével a felmerülő problémák definiálhatók. Mindkét folyószakasz számos emberi beavatkozással terhelt, amelyek a folyószabályozáshoz, hajózáshoz vagy éppen a vízenergia termeléshez kapcsolódnak és hasonló problémákhoz vezetnek, bár ezek a problémák különböző mértékűek lehetnek. Az eltéréseket egyfelől a különböző morfológiai jellemzők okozhatják, pl. eltérő hosszesés és jellemző hordalékszemcse méret, másfelől pedig az eltérő folyóhasználat, pl. ivóvíz kitermelés, rekreáció vagy hajózás. A 2. táblázat a beazonosított, hordalékhoz kapcsolódó problémákat és azok osztrák és magyar mintaterületre való hatását mutatják be.

2. táblázat A Duna ausztriai és magyarországi mintaterületein beazonosított problémák és azok hatásai

A folyószakaszra való hatás (AT)			Beazonosított probléma		A folyószakaszra való hatás (HU)		
kicsi	közepes	nagy	Kategória	Probléma	kicsi	közepes	nagy
	x		Folyószabályozásból adódó problémák	Árvízvédelem		x	
		x		Mederváltozások		x	
		x		Medermélyülés			x
	x			Parterózió megelőzése		x	
	x			Főmeder és hullámtér szétválasztása		x	
	x			Lefűződött mellékágak			x
	x			Ökológia		x	
x				Rekreáció		x	
x				Víztermelés		x	
	x			Hajózáshoz kapcsolódó problémák	Hidro- és morfordinamika		x
	x		Kisvízi hajózási korlátozások				x
		x	Ökológia			x	
	x		Vízenergia termeléshez kapcsolódó problémák	Tározó feliszapolódás		x	
	x			Tározó öblítés		x	
		x		Hordalékvándorlás megszakítása			x
		x		Ökológia		x	

A 45. ábra a Duna ausztriai és magyarországi mintaterületein beazonosított problémáit és azok hatásait mutatja be. Az osztrák szakaszon mind a hajózáshoz mind a vízenergiatermeléshez kapcsolódó ökológiai hatások jelentősebbek, mint a magyar szakaszon. Kisebb eltérések figyelhetők meg a folyószabályozási tevékenység kapcsán, pl. a mederváltozások hatásai az osztrák szakaszon jelentősebbek, míg a magyar szakaszon a rekreációhoz és a mellékágak lefűződéséhez kapcsolódó problémakör erősebb.



45. ábra A Duna ausztriai és magyarországi mintaterületein beazonosított problémák és azok hatásai

5 Összefoglalás

A jelentésben elemzett eredmények és összegyűjtött tapasztalatok fontos alapadatként szolgálnak egy fenntartható folyómérnöki szemlélet kialakításához. Meghatároztuk a SEDDON II projekt mintaterületein megfigyelhető hordalékhoz kapcsolódó problémákat, azok hatásait, továbbá az azokat kiváltó folyamatokat azzal a céllal, hogy jobban megértsük a hordalékvándorlás problémakörét, mint a folyómérnöki terület egy jelentős jövőbeli vizsgálati területét. A jelentés másik célja olyan mérnöki beavatkozások fejlesztése és optimalizálása, amelyek képesek megalapozott választ adni a többrétű és sok érdekeltet érintő problémákra, és a folyórendszereket érintő negatív emberi hatásokra.

Hivatkozások

- Bachmann, J. (2010).** Power from the Danube – can it be sustainable? Danube Watch 2/2010, ICPDR, Vienna, 10–11.
- Bulté G., Carriere M.A., Blouin-Demers G. (2010).** Impact of recreational power boating on two populations of northern map turtles (*Graptemys geographica*). Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems 20(1):31-38. DOI: 10.1002/aqc.1063.
- Church, M. (2006).** Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 34, pp. 325-354
- Danube FloodRisk (2013).** Final Project Report. Report of the project Danube FloodRisk funded by the South East Europe Transnational Cooperation Programme.
- DanubeSediment (2019a).** Long-term Morphological Development of the Danube in Relation to the Sediment Balance. Report of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Bratislava.
- DanubeSediment (2019b).** Analysis of Sediment Data Collected along the Danube. Report of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Budapest.
- Donauconsult (2006).** Integrated Danube river engineering project east of Vienna. Unpublished technical report.
- Donaukommission (2011).** Empfehlungen über die Mindestanforderungen von Regelmaßen für die Fahrinne sowie den wasserbaulichen und sonstigen Ausbau der Donau, 77. Tagung, Budapest.
- EDUVIZIG (2014).** Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság Nagyvízi mederkezelési terv (High water river management plan) 01.nmt.02. (egyeztetési terv) - Duna 1809,76 - 1786,00 fkm.
- Frings, R. M. (2004).** Downstream fining – a literature review. Departement Fysische Geografie,, Universiteit Utrecht. 59 p.
- Glas, M., Glock, K., Tritthart, M., Liedermann, M., and Habersack, H. (2018).** Hydrodynamic and morphodynamic sensitivity of a river's main channel to groyne geometry. Journal of Hydraulic Research, 1-13.
- Habersack, H. (2007).** Innovative river management - combining ecology, navigation and river engineering. Joint Statement 4 (ICPDR 2007).
- Habersack, H., Liedermann, M., Tritthart, M., Hauer, C., Klösch, M., Klasz, G., Hengl, M. (2012).** Maßnahmen für einen modernen Flussbau betreffend Sohlstabilisierung und Flussrückbau – Granulometrische Sohlverbesserung, Bühnenoptimierung, Uferrückbau und Gewässervernetzung. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 64, 571-581.
- Habersack, H., Schober, B., and Hauer, C. (2015).** Floodplain evaluation matrix (FEM): An interdisciplinary method for evaluating river floodplains in the context of integrated flood risk management. Nat Hazards 75, S5-S32.
- Habersack, H., Wagner, B., Schoder, A., and Hauer, C. (2013).** Die Bedeutung von Feststoffhaushalt und Sedimentdurchgängigkeit für eine nachhaltige Nutzung der Wasserkraft. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 65, 354-361.
- Habersack, H., Hein, T., Stanica, A., Liska, I., Mair, R., Jager, E., Hauer, C., and Bradley, C. (2016).** Challenges of river basin management: Current status of, and prospects for, the River Danube from a river engineering perspective. Sci Total Environ 543, 828-845.
- Habersack, H., Aigner, J., Haimann, M., Klösch, M., Liedermann, M., Hauer, C., Piégay, H. (2019).** The Sediment Balance of Alpine Rivers - Dynamics of Erosion and Sedimentation. In: Muhar, S; Muhar, A; Egger, G; Siegrist, D (Eds.), Rivers of the Alps - Diversity in Nature and Culture, 11; Haupt Verlag, Bern; ISBN 978-3-258-08117-5
- Habersack H., Baranya S., Holubova K., Vartolomei F., Skiba H., Babic-Mladenovic M., Cibilic A., Schwarz U., Krapesch M., Gmeiner Ph., Haimann M. (2019c).** Danube Sediment Management Guidance. Output 6.1 of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Vienna.

- Habersack H., Baranya S., Holubova K., Vartolomei F., Skiba H., Schwarz U., Krapesch M., Gmeiner Ph., Haimann M. (2019c).** Sediment Manual for Stakeholders. Output 6.2 of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Vienna.
- Hein, T., Schwarz, U., Habersack, H., Nichersu, I., Preiner, S., Willby, N., Weigelhofer, G. (2016).** Current status and restoration options for floodplains along the Danube River. *Sci Total Environ.* 2016; 543 (Pt A):778–790.
- Hohensinner, S., Habersack, H., Jungwirth, M., Zauner, G. (2004).** Reconstruction of the characteristics of a natural alluvial river-floodplain system and hydromorphological changes following human modifications: the Danube River (1812-1991). *River Research and Applications*, 20 (1), 25-41.
- Hohensinner, S., Schmidt, M., (2012).** International Conference “Disasters Wet and Dry: Rivers, Floods, and Droughts in World History”, Beijing, Renmin University of China, May 23-26, 2013
- ICPDR (2015).** The Danube River Basin District Management Plan – Update 2015. International Commission for the protection of the Danube River, Vienna.
- ICPDR (2020).** <https://www.icpdr.org/main/issues/dams-structures>
- Jackivicz T.P., Kuzminski L.N. (1973).** The effects of the interaction of outboard motors with the aquatic environment – A review. *Environmental Research* 6(4):436-454. DOI: 10.1016/0013-9351(73)90058-3.
- Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., and Schmutz, S. (2003).** *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern.* (Facultas Universitätsverlag).
- Keckeis, H., and Schiemer, F. (2002).** Understanding conservation issues of the Danube river. In *Fishery Science. The unique contributions of early life stages* (Blackwell Publishing), pp. 272-288.
- Klasz, G., Reckendorfer, W., Baumgartner, C., Gabriel, H., and Gutknecht, D. (2013).** River-bed degradation and overbank deposition: A human induced geomorphic disequilibrium in the Donau-Auen National Park. In *5th Symposium for Research in Protected Areas (Nationalpark Hohe Tauern)*, pp. 379-384.
- Kondolf G. M. (1994).** Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape and Urban Planning* 28:225–243.
- Kondolf G. M. (1997).** Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management* Vol. 21, No. 4, pp. 533–551
- Kucera-Hirzinger, V., Schludermann, E., Zornig, H., Weissenbacher, A., Schabuss, M., and Schiemer, F. (2009).** Potential effects of navigation-induced wave wash on the early life history stages of riverine fish. *Aquat Sci* **71**, 94-102.
- Liedermann, M., Tritthart, M., Gmeiner, P., Hinterleitner, M., Schludermann, E., Keckeis, H., Habersack, H (2014).** Typification of vessel-induced waves and their interaction with different bank types, including management implications for river restoration projects. *Hydrobiologia* ,729, 17–31.
- Magyar Tudományos Akadémia (Hungarian Academy of Sciences) (2017).** Water in Hungary. Status overview for the National Water Programme of the Hungarian Academy of Sciences. Budapest.
- Muilerman, G.-J., Maierbrugger, G., Armbrrecht, H., de Schepper, K., Turf, S., van Liere, R., Quispel, M. (2018).** Guidelines towards achieving a Good Navigation Status. European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport Directorate D Waterborne, Luxembourg.
- Natchkov, I. (1997).** Case Study IX – The Danube Basin. *Water Pollution Control – A Guide to the Use of Water Quality Management Principles.* Edited by Richard Helmer and Ivanildo Hespanho, published on behalf of the United Nations Environment Programme, the Water Supply & Sanitation Collaborative Council and the World Health Organization by E. & F. Spon.
- NEWADA duo, (2014).** REPORT ON CURRENT AND FUTURE SURVEYING & MAINTENANCE ACTIVITIES PART 1 - DOCUMENT SCOPE + NATIONAL FAIRWAY PARAMETERS. NEWADA duo Act.6.2 Report 6.2 consolidated Pt-1 final.
- Newcombe, C. P., & Jensen, J. O. (1996).** Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries Management*, 16(4), 693-727.

- Pessenlehner, S., Liedermann, M., Tritthart, M., Gmeiner, P., and Habersack, H. (2016).** River Bed Degradation and Morphological Development before and after River Restoration Measures at the Danube River East of Vienna. In 12th International Conference on Hydrosience & Engineering (Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University), pp. 89-92.
- Pessenlehner, S., Liedermann, M., Tritthart, M., Gmeiner, P., Habersack, H. (2017).** Evaluation of morphodynamics at the Danube River east of Vienna. [3rd International Conference on the Status and Future of the World's Large Rivers, New Delhi, INDIA, APR 18-21, 2017]
- Reckendorfer, W., Schmalfuß, R., Baumgartner, C., Habersack, H., Hohensinner, S., Jungwirth, M., and Schiemer, F. (2005).** The Integrated River Engineering Project for the free-flowing Danube in the Austrian Alluvial Zone National Park: contradictory goals and mutual solutions.
- Scholten, A., Rothstein, B. (2016).** Navigation on the Danube - Limitations by low water levels and their impacts; EUR 28374 EN; doi:10.2788/236234
- Scheiblechner, U., (2018).** Flussbauliches Gesamtprojekt -Maßnahmenkatalog Donau östlich Wien, Präsentation am Informationstag zum Maßnahmenkatalog für die Donau östlich von Wien, 23.04.2018, Wien
- Schludermann, E., Liedermann, M., Hoyer, H., Tritthart, M., Habersack, H., Keckeis, H. (2014):** Effects of vessel-induced waves on the YOY-fish assemblage at two different habitat types in the main stem of a large river (Danube, Austria) HYDROBIOLOGIA. 2014; 729(1): 3-15.
- Shumm, S.A. (1977).** The fluvial system. Wiley, New York.
- Ten Brinke WBM, Schulze FH, Van der Weer P. (2004).** Sand exchange between groyne-field beaches and the navigation channel of the Dutch Rhine: the impact of navigation versus river flow. River Research and Applications 20: 899–928.
- viadonau (2012).** Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD 2010. Vienna, Austria.
- viadonau (2019).** Manual on Danube Navigation, 4th edition, Vienna.
- Vienna Waters (2020).** <https://www.wien.gv.at/wienwasser/versorgung/weg/index.html>
- VHP (2013b).** Strom aus dem Strom. Die Wasserkraftwerke an der Donau. VERBUND Hydro Power AG.
- Wagner, B., Hauer, C., Schoder, A., Habersack, H. (2015).** A review of hydropower in Austria: Past, present and future development. Renewable and Sustainable Energy Reviews 50, 304–314.
- Wohl, E., B. P. Bledsoe, R. B. Jacobson, N. L. Poff, S. L. Rathburn, D. M. Walters, and A. C. Wilcox (2015).** The natural sediment regime in rivers: Broadening the foundation for ecosystem management, Bioscience, 65, 358–371.
- WRS (2000).** Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach. Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach, Fachbericht 2, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München.