



## BME VÍZÉPÍTÉSI ÉS VÍZGAZDÁLKODÁSI TANSZÉK

### A Dráva-folyó 0-236 fkm-ek közötti szakaszán jelentkező medersüllyedés okainak feltárása

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

---



**WISE  
DRAVA**

2020. szeptember

# A Dráva-folyó 0-236 fkm-ek közötti szakaszán jelentkező medersüllyedés okainak feltárása

---

## **Készítették:**

Dr. Baranya Sándor, egyetemi docens, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Pomázi Flóra, okleveles építőmérnök, PhD hallgató

Fleit Gábor, okleveles építőmérnök, PhD hallgató

Németh Dániel, okleveles építőmérnök

Sütheő Márton, okleveles építőmérnök

**Megbízó: Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság**

Budapest, 2020. szeptember

## Tartalom

1	Vezetői összefoglaló.....	5
2	A feladat ismertetése.....	7
3	A medersüllyedés okainak általános, hazai és nemzetközi szakirodalmi áttekintése .....	9
3.1	Antropogén hatások.....	10
3.1.1	Területhasználat.....	10
3.1.2	Folyószabályozás.....	11
3.1.3	Folyami kotrás .....	12
3.1.4	Vízlépcsők.....	13
3.2	Természetes hatások.....	14
3.2.1	Klímaváltozás .....	14
3.2.2	Tektonikai mozgások.....	15
3.2.3	Folyómeder oldalirányú mozgása.....	16
3.2.4	Erózióbázis megsüllyedése.....	17
3.3	Jellemző medermélyülési folyamatok hazai folyóinkon .....	17
3.3.1	Duna .....	18
3.3.2	Hernád .....	20
3.3.3	Ipoly.....	20
3.3.4	Maros.....	20
3.3.5	Mosoni-Duna.....	20
3.3.6	Rába.....	21
3.3.7	Sebes-Körös.....	21
3.3.8	Tisza .....	21
3.4	A Dráva mederalakváltozásával foglalkozó korábbi tanulmányok összefoglalása .....	21
3.4.1	A Dráva medersüllyedésének okai .....	22
3.4.2	A Dráva medersüllyedésének mértéke .....	22
3.4.3	Mederfelmérések Barcs térségében (1974-2019).....	24
3.4.4	Mederfelmérések az Eszék alatti (torkolati) szakaszon.....	26
3.4.5	Egyéb, a Dráva mederalakjának változásával foglalkozó tanulmányok.....	27
4	Mederdomborzati térképek.....	30
4.1	1971-es Dráva atlasz .....	30
4.2	2006-os Dráva atlasz .....	30
4.3	2018-as felmérés.....	30
5	Kotrási adatok elemzése .....	31
5.1	A kotrási térfogatok időbeli alakulásának vizsgálata .....	31
5.2	A kotrások területi eloszlásának értékelése .....	33
5.3	A kotrási térfogatok mederszintekre való hatásának becslése.....	35

6	Folyószabályozási beavatkozások hatásának vizsgálata.....	40
6.1	A Dráván és legfontosabb mellékfolyóin végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése 40	
6.1.1	A Dráva vizsgált szakaszán végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése .....	40
6.1.2	A Murán végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése .....	42
6.1.3	A Rinyán végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése .....	43
6.1.4	A Fekete-vízen végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése .....	43
6.2	A beavatkozások során megváltozott hidromorfológiai viszonyok bemutatása (korábbi tanulmányok alapján).....	43
6.2.1	Kanyarulati paraméterek, kanyarfejlődés (rövid áttekintés).....	44
6.2.2	Változások a Dráva mentén a 19. századtól napjainkig .....	46
6.3	A mederalakra kifejtett hatás becslése .....	56
7	A horvátországi vízlépcsők hatásának vizsgálata .....	60
7.1	A vízlépcsők legfontosabb jellemzői.....	61
7.1.1	A varasdi vízerőmű.....	62
7.1.2	A čakoveci vízerőmű .....	62
7.1.3	A Donja Dubrava-i vízerőmű .....	63
7.2	A vízlépcsők vízjárásra kifejtett hatása .....	64
7.2.1	A vízállásban bekövetkezett változások .....	64
7.2.2	Változások a vízállás-tartósságban.....	68
7.2.3	A vízszintek napi ingadozása 1958-ban és 2008-ban .....	68
7.2.4	Az árvizek gyakoriságának változása.....	70
7.3	A vízlépcsők hordalékvízjárásra kifejtett hatása .....	71
7.3.1	A lebegtetett hordalékszállításban bekövetkezett változások bemutatása .....	72
7.3.2	A görgetett hordalékszállításban bekövetkezett változások bemutatása .....	74
7.3.3	A mederanyag szemösszetételére kifejtett hatás vizsgálata.....	75
7.4	A mederalakra, mederszintekre kifejtett hatások vizsgálata.....	76
8	Mederalakváltozási folyamatok feltárása .....	78
8.1	A jelentős változást mutató folyószakaszok beazonosítása.....	78
8.2	Sziget- és kanyarulatfejlődés alakulása .....	81
8.2.1	Szigetfejlődés .....	81
8.2.2	Kanyarulatfejlődés.....	82
8.3	Kisvízi vízszintek hosszmenti és időbeli alakulásának vizsgálata .....	84
9	Értékelő elemzés.....	89
9.1	A medersüllyedést okozó hatások feltárása.....	89
9.1.1	Antropogén hatások.....	89
9.1.2	Természetes hatások .....	91
9.1.3	A hatások összegzése .....	94



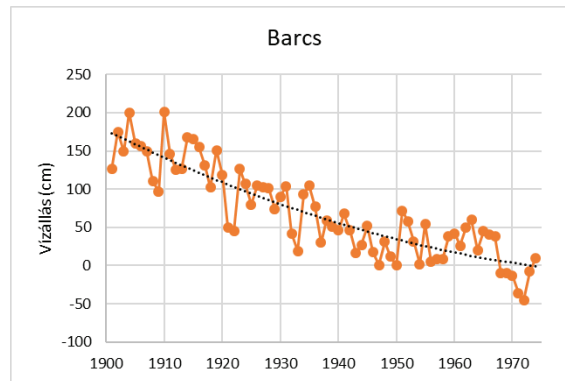
9.2	A folyó medersüllyedési folyamatának elemzése .....	94
9.3	Következtetések, javaslatok .....	97
10	Irodalomjegyzék .....	100
11	Függelék – Keresztshelvények .....	107

# 1 Vezetői összefoglaló

Jelen tanulmányt a Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság megbízásából a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéke készítette azzal a céllal, hogy a Dráva közös magyar-horvát szakaszán, Őrtilostól, majd tovább alvízi irányban egészen a Duna torkolatig, tehát Őrtilos és a torkolat között, feltárja a főmeder alakváltozási folyamatait, beazonosítsa a mederváltozást kiváltó okokat és becslést tegyen az egyes determináló tényezők mederváltozásban szerepet játszó súlyára. A tanulmányban bemutatjuk általában véve a folyók mederváltozásában szerepet játszó antropogén és természetes hatásokat, kitérünk a hazai folyóinkon tapasztalható mederalakváltozási, jellemzően mélyülési folyamatokra, majd a Drávára térve bemutatjuk a korábban készült, témához kapcsolódó tanulmányokat. Áttekintjük az elérhető mederdomborzati adatokat és három időszakra (1971, 2006 és 2018) előállítjuk a mederadatokat, áttekintjük számszerűen a Dráván végrehajtott kotrási munkálatokat, bemutatjuk a folyószabályozási beavatkozásokat, a horvát szakaszon üzembe helyezett vízlépcsőket, bemutatjuk a helyszínrajzi alakváltozási folyamatokat és számszerűen értékeljük a medermélyülési folyamatokat. A mederváltozásfeltárására elsősorban a vízrajzi mérőállomásokra elérhető hosszú idejű kisvízszint adatsorokra támaszkodunk, de az említett medertérképeket is a lehetőségekhez mérten felhasználjuk.

A mederváltozásban szerepet játszó természetes folyamatok, pl. tektonikai mozgások, és emberi beavatkozások, mint klasszikus folyószabályozás, vízlépcsők, kotrási tevékenység időbeli és hosszmenti hatásainak elemzésére számszerű értékelést mutatunk be, és azok alapján következtetéseket vonunk le, amelyekből a legfontosabbakat az alábbiakban foglaljuk össze:

- A 19. századi kanyarulat-átvágások hatására a folyó hossza mintegy 40%-kal csökkent, a sarkantyúk, a partbiztosítások és a szabályozási célú kotrások lokális jelleggel mederszűkítést és medermélyülést okoztak. A Dráva medre a Barcs fölötti szakaszon átlagosan 1,2 métert, a Barcs alatti szakaszon kb. 1,4 métert mélyült, a teljes szakaszra nézve pedig átlagosan 1,3 métert mélyült 1900-2020 között, vagyis az elmúlt kb. 120 év alatt.
- A hosszú idejű kisvízszint elemzések alapján bemutatható volt, hogy a 18. sz. végén megkezdett hagyományos folyószabályozási beavatkozások a meder intenzív mélyülését eredményezték, amelynek mértéke a vízlépcsők üzembe helyezése és a kotrások megkezdése előtti időszakban a Barcs fölötti szakaszon átlagosan kb. 0,50 cm/év, a Barcs alatti szakaszon kb. 2 cm/év.
- A vízfelszín területe 1882 és 2007 között folyamatosan, közel a felére csökkent, ezzel párhuzamosan a meder átlagos szélessége is 1,8-3,6 m/év ütemben, több mint a felére csökkent. A medermorfológia e két jellemzője változásának hatására a formakincs egyszerűsödött, a meder egyre egységesebbé vált.
- A rendszeres folyószabályozási beavatkozások hatása időben elnyúló volt, de folyamatosan mérséklődő, ami jól láthatóan egy új egyensúlyi állapot eléréséhez tartott egészen addig, amíg a horvát szakaszon üzembe helyezték a vízlépcsőket és megkezdődtek az intenzív mederkotrási munkák a '80-as évek elején (ábra). Az egyensúlyi állapot azokra a folyószakaszokra vonatkozik, ahol a partok kőszórásokkal vannak biztosítva és keresztirányú mederfejlődés nem alakulhat ki. Azokon a szakaszokon, ahol nincs partvédelem, a függőleges mederváltozás megszűnése nem feltétlenül jelenti egy új stabil állapot kialakulását, mivel keresztirányú mederváltozások, pl. kanyarulatfejlődés még végbe mehet.



A barcsi éves kiszállás értékek alakulása a vízlépcsők üzembe helyezése előtti időszakban

- A kotrási adatok alapján az 1982-2011 közötti időszakban, amikor a legintenzívebb kavics- és homokkitermelés folyt a Dráván, a kikotort hordaléktérfogató értékek alapján, a folyó Barcs fölötti és alatti szakaszára vetítve átlagosan kb. 1,2 cm/év (Barcs fölött) és kb. 0,6 cm/év (Barcs alatt) az a medermélyülési tendencia, amit a kotrás váltott ki.
- A horvát vízlépcsők közül a legjelentősebb hatást a Donja Dubrava-i erőmű 1989-es üzembe helyezése okozta. Őrtilosnál a vízszintek stabilizálódása egy évtizedig is eltartott, s ezalatt (1989-2000) nagyjából 140 cm-rel mélyült a meder (kb. 11,5 cm/év).
- A Dráva természetes állapotában a felső szakaszon a szigetek nagy száma miatt több ágra szakadó (így szélesebb), fonatos meder volt a jellemző, majd a vízerőművek hatására a fonatosság mértéke lényegesen csökkent, egységesebbé vált a meder, kanyargós mintázata azonban megmaradt. A vízerőművek által jelentősen módosított vízjárás hatására csökkent a szigetek száma és területe, a meder pedig intenzív ütemben szűkült.
- Az őrtilos környéki szakaszon volt a legjelentősebb a horvát vízlépcsők hatása, innen alvízi irányban már inkább a kotrási tevékenység determinálta a folyómeder mélyülését a 80'-as évektől kb. 2010-ig. Becsléseink szerint a kotrás ebben az időszakban a medermélyülés kb. 50 százalékaért felel, a másik 50%-ért a vízlépcsők által visszatartott hordalék hiánya és a további lokális beavatkozások felelősek.
- A 2010-es évek elejétől, a kotrási tevékenység megszűnése után a meder mélyülése jórészt megszűnt, a kismértékű, 0,1 cm/év körüli mélyülő tendencia egybeesik a tektonikai mozgások alapján becsült értékkel. Rövidebb szakaszokon, jellemzően ott, ahol korábban intenzív kotrási tevékenységet folytattak, a morfodinamikai folyamatok sajátosságai miatt továbbra is jelentkezik medereróziós hatás, ami jelenleg is tart, mértéke pedig folyamatosan csökken.
- Ahhoz, hogy a Dráva áramlási, morfológiai, hordalékvándorlási folyamatainak és ezen fizikai jellemzők biotikus jellemzőkkel való kölcsönhatásának alakulását feltárjuk, a jövőben célirányos, tudományosan megalapozott vizsgálatokra van szükség. A napjainkban elérhetővé vált, korszerű, innovatív folyómérnöki terepi, számítógépes és fizikai kisminta vizsgálati módszerek biológiai vizsgálatokkal való összekapcsolása korábban nem feltárt és nem ismert folyamatokra mutathat rá, amelyeken keresztül jövőbeli beavatkozások megalapozása a korábbi vizsgálati eszközökhöz képest jelentősen nagyobb megbízhatósággal hajthatók végre.

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 (DDVIZIG). 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 0-236 fkm-ek közötti szakaszán jelentkező medersüllyedés okainak feltárása”.

A BME és DDVIZIG között megkötött szerződés az alábbi feladatkiírást tartalmazta:

1. A medersüllyedés okainak általános, hazai és nemzetközi szakirodalmi áttekintése
  - antropogén hatások
    - területhasználat megváltozása
    - folyószabályozás
    - kotrás
    - vízlépcsők
    - ...
  - természetes hatások
    - klímaváltozás
    - tektonikai mozgások
    - folyómeder oldalirányú mozgása
    - ...
  - jellemző medermélyülési folyamatok hazai folyóinkon, lehetséges okok
  - a Dráva mederalakváltozásával foglalkozó korábbi tanulmányok összefoglalása
2. Mederdomborzati térképek
  - 1971-es Dráva atlasz bedigitalizálása
    - rajzolt keresztmetszvények digitalizálása
    - EOVS rendszerbe illesztés, pontsorozat létrehozása
  - 1998-2003-as mederfelmérések feldolgozása
  - 2018-19-es mederfelmérések feldolgozása
  - a domborzati modell létrehozásának módszertana
  - mederdomborzati térképek előállításának az előző három állomány alapján egységes, a mederalakváltozások elemzésére alkalmas formátumban
3. Kotrási adatok elemzése
  - kotrási térfogatok összegyűjtése
  - kotrási térfogatok időbeli alakulásának vizsgálata
  - kotrások területi eloszlásának értékelése
  - kotrási térfogatok mederszintekre való hatásának becslése
4. Folyószabályozási beavatkozások hatásának vizsgálata
  - Korábbi, a Dráván (és a legfontosabb mellékfolyókon) végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése
  - A beavatkozások során megváltozott hidromorfológiai viszonyok bemutatása (pl. folyó vonalvezetése, kanyarulati paraméterek megváltozása) – korábban készült anyagok alapján
  - Mederalakra kifejtett hatás becslése

5. Horvátországi vízépcsők hatásának vizsgálata

- Vízlépcsők releváns jellemzői (tározótér térfogata, vízszint-különbség, üzemeltetés kezdete, üzemeltetés módja, ...)
- A vízlépcsők vízjárásra kifejtett hatása – korábbi tanulmányok alapján
- A vízlépcsők hordalékvízjárásra kifejtett hatása – korábbi tanulmányok alapján
- Mederalakra, mederszintekre kifejtett hatás vizsgálata, különös tekintettel a Donja Dubrava-i erőműre, annak aktuális üzemrendjére

6. Mederalakváltozási folyamatok feltárása

- Medertérképek alapján különbségtérképek készítése, jelentős változást mutató folyószakaszok beazonosítása
- Sziget- és kanyarulatfejlődés alakulása
- Kisvízi vízszintek hosszmenti és időbeli alakulásának vizsgálata

7. Értékelő elemzés

- A medersüllyedést okozó hatások feltárása a Dráva folyó egyes szakaszaira és mértékük meghatározása
- A folyó medersüllyedési folyamatának elemzése

8. Angol nyelvű összefoglaló

### 3 A medersüllyedés okainak általános, hazai és nemzetközi szakirodalmi áttekintése

A folyók morfológiai változásai bekövetkezhetnek természetes vagy mesterséges hatások következtében, amelyek az esés, vagy a víz- és hordalékhozam módosításán keresztül hatnak a meder morfológiájára (Schumm 1977). Az 1. táblázat a folyók víz- és hordalékviszonyokban bekövetkező változásokra adott válaszát tartalmazza. Medersüllyedés következik be, ha i) változatlan vízjárás mellett csökken a hordalékhozam, ii) változatlan hordalékhozam mellett nő a vízhozam, iii) növekvő vízhozam mellett csökken a hordalékhozam – vagyis valamilyen módon a medersüllyedést megelőző állapothoz képest hordalékszegénnyé válik a víz.

1. táblázat: A víz- és hordalékhozamban bekövetkező változásokra a folyók által adott morfológiai válaszok (Schumm 1977 alapján). A táblázatban alkalmazott jelölések magyarázata:  $Q_s$  hordalékhozam,  $Q_w$  vízhozam, + növekedés, - csökkenés, = változatlan, ? kérdőjeles válasz

Változás	Morfológiai válasz
$Q_s^+ Q_w^=$	feltöltődés, instabil meder, medertágulás és sekélyebb meder
$Q_s^- Q_w^=$	bevágódás, instabil meder, mederszűkülés és medermélyülés
$Q_s^= Q_w^+$	bevágódás, instabil meder, medertágulás és medermélyülés
$Q_s^= Q_w^-$	feltöltődés, instabil meder, mederszűkülés és sekélyebb meder
$Q_s^+ Q_w^-$	feltöltődés
$Q_s^+ Q_w^+$	morfológiai folyamatok felgyorsulása
$Q_s^- Q_w^-$	morfológiai folyamatok lassulása
$Q_s^- Q_w^+$	bevágódás, instabil meder, medermélyülés és medertágulás (?)

A folyók egyensúlyuk megzavarásakor természetes módon törekednek egy új egyensúlyi állapot elérésére, melynek legegyszerűbb módja saját medrük esésének, illetve alakjának változtatása (Galay 1983, Surian és Rinaldi 2003). Lane (1955) összefüggése (1) alapján az esés (S) egyenesen arányos a hordalékhozammal ( $Q_s$ ) és a mederanyag méretével (D), s fordítottan arányos a vízhozammal ( $Q_w$ ). Amennyiben (adott vízhozam mellett) megindul a medersüllyedési, bevágódási folyamat, az új egyensúlyi folyamat a mederanyag durvulásával vagy a folyó alakjának változásával alakul ki. Új, dinamikus egyensúlyi állapot alatt azt értjük, hogy a folyómeder alakja hosszabb időre tekintve nem mutat tendenciózus változást függőleges és vízszintes értelemben, hanem csak lokális és időszakos meder átrendeződések figyelhetők meg. A mederanyag durvulása jellemzően az ún. mederpáncél kialakulásához vezet, amely mederfelszíni rétegből az áramlás már kimosott minden finomabb szemcsét. Az így kialakult, durva szemcséből álló réteg igen ellenálló, azonban egy-egy nagyobb árhullám levonulása felszakíthatja, teljesen átrendezve ezzel a medret. Terjedési irányát tekintve a bevágódás lehet felvízi és alvízi irányú is (Galay 1983). A két változat közül az alvízi irányú folyamat a gyorsabb, mert a megnövekedett esés hatására a hordalékhozam is növekedik – míg a felvízi irányban fokozatosan csökken a bevágódás szükséges mértéke (Galay 1983).

$$S \propto \frac{Q_s^a D^b}{Q_w^c} \quad (1)$$

A medersüllyedés okai közt egyaránt szerepelnek antropogén és természetes hatások is, melyek egyaránt lehetnek közvetlenek és közvetettek is (Kiss 2014). Az egyes hatások azonban általában egymásra tevődnek, így igen nehéz elkülöníteni a rájuk adott válaszokat (Galay 1983, Rumsby és Macklin 1994,

Liébault et al. 2005). Az indirekt természetes hatások (pl. klímaváltozás, tektonikai mozgások a vízgyűjtőn) leginkább a vízgyűjtőterületet érintik és a lefolyás módosítása révén megváltoztatják a víz- és hordalékhozamot (Kondolf et al. 2002) – amelyre pedig a folyó morfológiai válasza az 1. táblázat szerint alakul. A direkt természetes hatások (pl. tektonikai mozgások a folyó hossz-szelvénye mentén, oldalirányú vándorlás) a mederesést és a meder morfológiáját alakítják (Galay 1983). A természetes hatásokra a folyó válasza jóval lassabb, mint az antropogén hatások esetében (Kiss 2014).

A lokálisan jelentkező antropogén hatások általában már közvetlenül hatnak a folyómeder morfológiájára, a folyó válasza szinte azonnali (Kiss 2014). A folyószabályozási beavatkozások esetén jellemzően az esésviszonyokban okoznak változást, a mederkotrás, illetve a gátak és tározók létesítésének hatására pedig hiány keletkezik a hordalékszállításban (Galay 1983). Az antropogén hatások közé sorolt területhasználat azonban szintén egy nagyobb területet, teljes vízgyűjtőt érintő, indirekt hatás, amely a lefolyási viszonyok módosításán keresztül hat a folyó mechanizmusaira (Gregory 2006).

### 3.1 Antropogén hatások

Az antropogén hatások lehetnek direkt, azonnali és indirekt, elhúzódó hatások is. A lokális, direkt hatások közé tartoznak a folyószabályozási beavatkozások (pl. kanyarulat-átvágások és sarkantyúk), a folyami kotrás (folyószabályozási célú mederkotrás, illetve ipari homok- és kavicskitermelés), valamint a vízlépcsők építése. A folyószabályozási művek jellemzően a mederesés növelésén, illetve a meder szűkítésén keresztül okozzák a meder süllyedését, míg a kotrás és a vízlépcsők létesítése esetében a hordalékszállításban keletkező hiány pótlására következik be a meder eróziója. A területhasználatban (növényborítottság és urbanizáció) történő változások indirekt hatások, melyek a vízgyűjtőn, a lefolyási viszonyok módosításán keresztül hatnak a folyó víz- és hordalékjárására. Ezekre a közvetlen hatásokra a folyó válasza is elhúzódó jellegű.

#### 3.1.1 Területhasználat

A területhasználatban bekövetkező változás olyan indirekt hatás, amely leginkább a vízgyűjtőt érinti. A felszínborítás (növényzet, burkolat) nagyban befolyásolja a felszíni lefolyást, illetve a talajvesztéséget - a víz- és hordalékhozamban bekövetkező változások pedig aktívan hatnak a mederfejlődésre (Liébault et al. 2005).

##### 3.1.1.1 Növényborítottság

A növényborítottság nagyban meghatározza a felszíni lefolyást, illetve a talajvesztéséget. Minél sűrűbb, erősebb és magasabb szintű a vegetáció, annál lassabb a lefolyás, s kisebb az erózióknak kitett területek aránya.

A folyók (újra)erdősítés hatására bekövetkező morfológiai válasza összetett folyamat, hiszen a vízgyűjtőn jellemzően egyidejűleg csökken a lefolyás és a talajvesztés mértéke is. Schumm (1977) alapján változatlan vízhozam mellett a vízgyűjtőről érkező hordalék csökkenése a vízfolyásra addig jellemző hordalékszallító kapacitásban többletet eredményez (Liébault et al. 2005, Gregory 2006). A hordalékszallító kapacitásban jelentkező többletet a mederanyagból történő felkeveredésből táplálja, melynek hatására medermélyülési folyamat indulhat meg. Változatlan hordalékhozam mellett viszont a csökkenő vízhozam a meder feltöltődését eredményezheti (1. táblázat), így a két tényezőben bekövetkező csökkenés jellemzően a morfológiai folyamatok lassulásához vezet.

Különösen fontos az erdősítés lejtőstabilizáló hatása, ugyanis a durva frakciójú hordalék jellemzően a vízgyűjtő magasabb területeiről érkezik. A mezőgazdasági területek újraerdősítésének hatására

bekövetkező bevágódást vizsgálta például Keesstra et al. (2005) a szlovén Dragonja, Lach és Wyżga (2002) a lengyel Wisłoka, valamint Kondolf et al. (2002) a francia Drôme folyó esetében.

A parton megtelepedő fák gátolják a parteróziót, ugyanis gyökérhálózatuk kötöttebbé teszi a partot. Amennyiben a parti növényborítottságban bekövetkező változás előtt a folyó által szállított hordalékhozam egy része a parterózióból keletkezett, a hordalékmennyiségben fellépő hiány kielégítésére a saját medréből ragadja el a hordalékot, s a meder mélyülni kezd.

#### 3.1.1.2 Urbanizáció

Míg a burkolt felületek megnövelik, s gyorsítják a lefolyást, addig a városok területén jellemzően nem keletkezik hordalék (Wolman 1967). A városi vízgyűjtő területéről tehát lényegében ún. tisztavíz érkezik a mederbe, melynek jelentős a munkavégző és erodáló képessége (Gregory 2006). A megnövekedett hordalékszállító képesség hatására megnövekszik a görgetett hordalék mennyisége, melynek eredményeként lokálisan durvul a mederfenék. Amennyiben a hordalékszállító kapacitás már nem elégíthető ki, megindul a mederfenék bevágódása. A meder urbanizáció hatására bekövetkező pusztulását (meder- és parterózió, mederpáncélozódás) tapasztalta pl. Gregory et al. (1992) az angliai Monks Brook folyó esetében, valamint Hawley et al. (2013) az amerikai Észak-Kentucky vízgyűjtőin.

### 3.1.2 Folyószabályozás

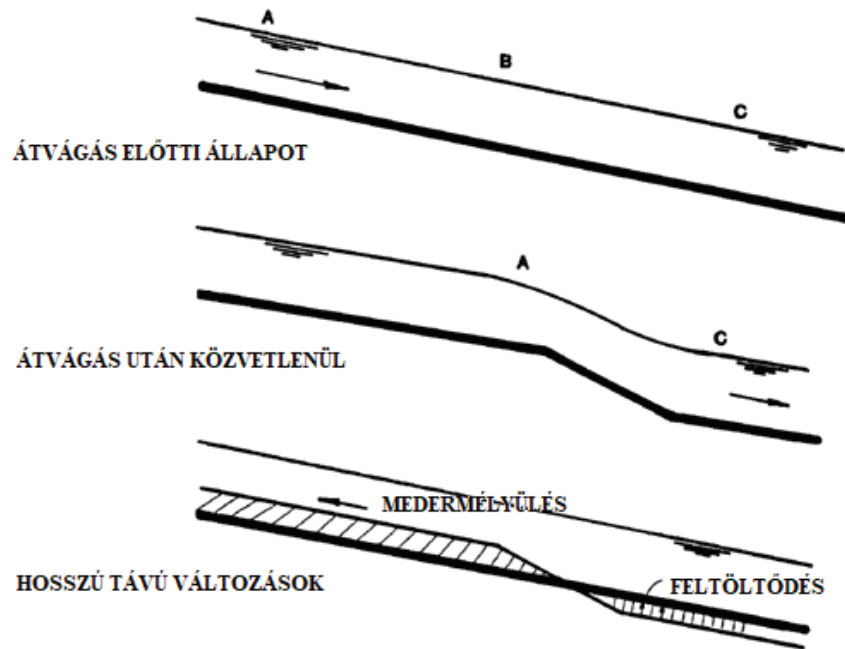
A hagyományos folyószabályozási beavatkozások közé tartoznak a hossz- (partbiztosítások és vezetőművek) és keresztirányú (sarkantyú, keresztgát) művek, a kanyarulat-átvágások és mederkiegyenesítések, a mellékágak lezárására épített művek és az árvízvédelmi töltések.

A folyószabályozási művek rendszerint azonnali, lokális hatással vannak a meder morfológiájára (Kiss 2014). A kanyarulat-átvágások és mederkiegyenesítések a meder esésének növelésével (Galay 1983, Surian 1999), a sarkantyúk és a töltések a meder szűkítésével (Surian és Rinaldi 2003), a partbiztosítások pedig a kanyarulatok oldalirányú vándorlásának akadályozásával (Surian 1999) indítják meg a bevágódási folyamatot.

#### 3.1.2.1 Kanyarulat-átvágások és mederkiegyenesítések

A kanyarulat-átvágással kiegyenesített szakaszon megnövekedik az esés (Galay 1983) (1. ábra), miáltal megnövekedik a folyó sebessége és hordalékszállító képessége, így nagyobb mennyiségű hordalékot képes szállítani, nő az erodáló képessége. A hordalékszállító kapacitásban jelentkező többletet a mederanyagból történő felkeveredésből táplálja, melynek hatására medermélyülési folyamat indul meg (Surian 1999) (1. ábra). Hooke (1995) az angliai Bollin és Dane folyókon történt kanyarulat-átvágások példáján keresztül vizsgálta a rövid és hosszú távú mederváltozásokat – a mederesés szinte azonnal megduplázódott, majd az átvágást követő pár éven belül a meder egyre jobban kanyarogva, medrét és partjait erodálva került új egyensúlyi állapotába.





1. ábra: A kanyarulat-átvágás hatására bekövetkező medermélyülési folyamat (Galay 1983)

### 3.1.2.2 Terelőművek

A terelőműveket (pl. sarkantyúk, vezetőküvek) főként a megfelelő hajózási útvonal biztosítása érdekében építik – a meder szűkítésével egy meghatározott nyomvonalba kényszerítik a folyót. A meder szűkítése a meder mélyüléséhez vezet. (Surian és Rinaldi 2003)

### 3.1.2.3 Partbiztosítások

A partbiztosítások az oldalazó eróziót hivatottak megállítani (Rákóczi 2000), megnövelve a vízfolyás sebességét. Mivel a partbiztosítások hatására a kanyarulatok külső ívének a vándorlása lelassul vagy teljesen megáll, a belső ív további feltöltődésének hatására a meder szűkül, a kanyarulat egyre élesebbé válik (Surian 1999, Kiss et al. 2008). A meder szűkítése a meder mélyüléséhez vezet (Surian 1999).

### 3.1.2.4 Töltések

Az árvízvédelmi töltések szűkítik a hullámteret, melynek elsődleges hatása a hullámtér feltöltődése. Emellett azonban a munkavégző képesség növekedésekor a folyó mélyíteni kezdi saját, szűk hullámtérre szorított középvízi medrét. A taiwani Bachang folyót töltésekkel szorították egyenesebb (és szűkebb) mederbe, amely gyors, intenzív bevágódási folyamattal járt együtt (Huang et al. 2014).

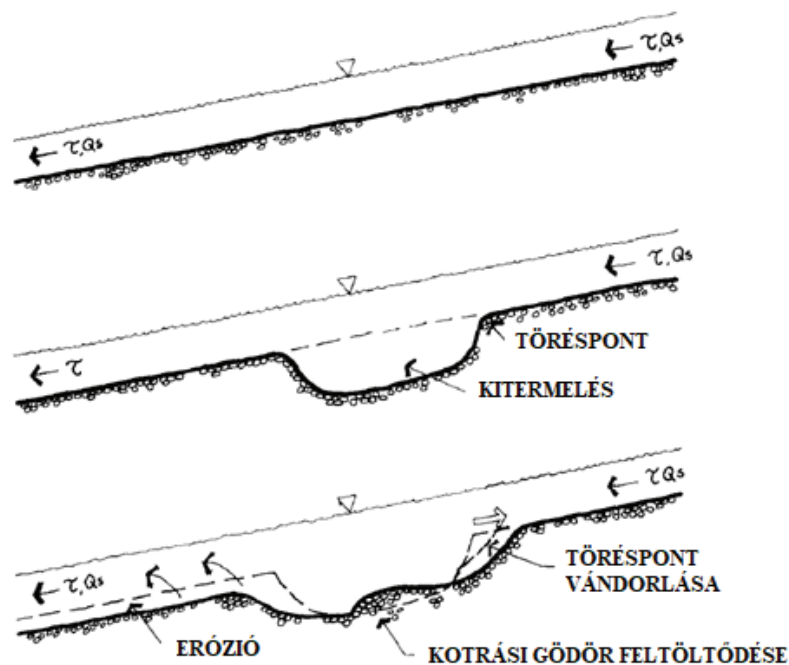
## 3.1.3 Folyami kotrás

A folyami kotrásoknál megkülönböztetendők a folyamszabályozási (melyek szervesen illeszkednek egy-egy folyószakasz rendezési tervébe) és vízépítési kotrások (például vízlépcső létesítése), a gázlókotrások (a hajózási útvonal előírt méreteinek biztosítása céljából), valamint a homok- és kavicsbányászat.

A folyó medréből történő homok- és kavicsbányászatnak ipari szempontból számos kedvező tulajdonsága van: a folyami homok és kavics jellemzően tiszta, az áramlás és a mederfenék koptató hatása miatt alakja már önmagában is megfelelő, szemösszetétele alapján pedig jól osztályozódott – s

nem mellesleg általában közel található a későbbi felhasználási helyhez is. További igen fontos előnye, hogy az aktív görgetett hordalékmozgás folyamatos utánpótlást szolgáltat a kitermelés számára, így nem csak a bányagödör mélyítésével termelhető ki több homok- illetve kavics. (Kondolf 1994)

A folyó medréből kitermelt hordalék miatt azonban megbomlik a folyószakasz egyensúlya. A megváltozott egyensúlyi viszonyokhoz legegyszerűbben a mederesés megnövelésével alkalmazkodik a folyó (Lane 1955, Schumm 1977), melynek hatására a folyó energiája is megnövekedik, s medererózió lép fel. A mélyedés felső, meredek végén bekövetkező hátravágódás akár kilométerekre is kiterjedhet a felvízi irányban. A kitermelt térfogat helyén keletkezett árokban, gödörben csapdázódik a fentről érkező görgetett hordalék (2. ábra). A görgetett hordalékmenyiségben fellépő hiány pótlására (vagyis a tisztavíz-erózió hatására) az alvízi szakaszon is medereróziós folyamatok indulnak meg (2. ábra), melynek következtében a mederalak is jelentősen egyszerűsödhet (pl. az angliai Wear folyó esetében; Wishart et al. 2008). Mivel elsődlegesen a finomabb szemcsék mosódnak ki a mederanyagból, az alvízi meder páncélozódása is előfordulhat. A nagyobb szemcsék kevésbé mobilisak, így stabilabbá válik a meder. (Kondolf 1994)

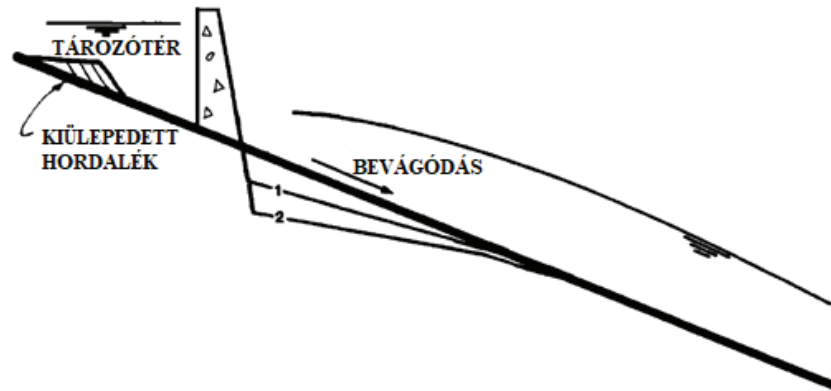


2. ábra: A kotrási gödör és környezetének fejlődése (Kondolf 1994)

### 3.1.4 Vízlépcsők

A vízlépcsők megszakítják a víz- és hordalékszállítás folytonosságát, megváltoztatják az esést, és így a sebességet is. A vízlépcsők a vízmennyiségnek jellemzően csak az eloszlását módosítják, de a szállított hordalék mennyiségében jelentős változást eredményeznek. A műtárgy mögötti tározótérben, a felvízi szakaszon lecsökken a vízsebesség, melynek következtében a duzzasztási teret elérve a görgetett hordalék egyből elkezd lerakódni, s a lebegtetett hordalék egy része is fokozatosan kiülepszik. Mivel a műtárgy mögött a teljes görgetett hordalékmenyiség csapdázódik, s a gátat elérő lebegtetett hordalék is főként finom frakciójú, az alsó szakaszra viszonylag tiszta, hordalékszegény víz jut. (Rákóczi 1989, Kondolf 1997)

Ez az ún. tisztavíz a fölős energiáját a legkisebb ellenállás irányában fogja felhasználni (Bogárdi 1971), a felszabadult hordalékszállító kapacitást a mederanyagból elragadott, elsősorban finom szemcséjű hordalékkal tölti ki, amely a mederfenéken a durvább frakció feldúsulását eredményezi, ami akár a meder páncélozódásához is vezethet (Brandt 2000). A vízlépcsők alatt tehát medermélyülés indul meg (Kondolf 1997) (3. ábra), hatása azonban a műtárgytól távolodva (és időben is) egyre gyengül (Leopold et al. 1964). A bevágódásból adódó medermélyülés a vízlépcső létesítésekor és az üzemelésének megkezdése utáni első néhány évben a legdinamikusabb (Csuka 1971, Williams és Wolman 1984) – a bevágódás hatására fokozatosan csökken a folyó esése és energiája, amely a hordalékszállítás mérséklődését vonja maga után.



3. ábra: Vízlépcső alatti lokális medermélyülés a hordalékszállításban bekövetkezett hiány pótlása érdekében (Galay 1983)

## 3.2 Természetes hatások

A természetes hatások viszonylag lassú változást eredményeznek, s lehetnek közvetettek (pl. klímaváltozás, tektonikai mozgások a vízgyűjtőn) vagy közvetlenek (pl. tektonikai mozgások a folyó hossz-szelvénye mentén, a folyómeder oldalirányú vándorlása vagy az erózióbázis megsüllyedése). A közvetlen természetes hatások jellemzően egy nagyobb területet, akár az egész vízgyűjtőt érintik, s a lefolyási viszonyok megváltoztatásán keresztül hatnak a folyó mechanizmusaira (Kiss 2014). A közvetett természetes hatások közvetlenül alakítják a meder esését, formakincsét, vonalvezetését.

### 3.2.1 Klímaváltozás

A klímaváltozás a területhasználatban bekövetkező változásokhoz hasonlóan olyan indirekt hatás, mely leginkább a vízgyűjtőt érinti. A lefolyás módosítása révén a víz- és hordalékhozamban bekövetkező változások aktívan hatnak a mederfejlődésre, jelentősen befolyásolva a folyók morfológiai paramétereit (pl. esés, mederszélesség, mélység, alak).

A klímaváltozás hatására megváltozik a csapadék intenzitása, mennyiségi és időbeli eloszlása, a párolgási arány, a növénytakaró, a vízszintek, a gleccserek és hótakarók aránya, sőt az emberi tevékenységek, válaszok is (Goudie 2006). A kisvízes időszakok gyakoriságának növekedésével a vegetáció tartósabban telepedhet meg az aktív mederben, illetve a zátonyokon, amely a meder szűküléséhez vezet. Ezzel párhuzamosan a nagy fajlagos munkavégző képességű, extrém árvizek előfordulása is megnövekedett. A jelentős hordalékszállító kapacitás eredményeként a meder jellemzően bevágódik, kiszélesedik. A franciaországi Drôme folyó vízgyűjtője esetében például a kis jégkorszak

erős hatással volt a lejtőstabilitásra – a talajfagyás következtében csökkent a hordalékforrás, így az árvizek intenzitásának növekedésével együtt jelentősen nőtt a medererózió mértéke (Landon et al. 1998).

A klímaváltozás hatására bekövetkező medersüllyedés egy speciális esete, amikor egy gleccser visszahúzódása nyomán tó alakul ki (pl. Neal 2007), amelyben tározódik a durva hordalék, amely a tó kialakulása előtt még a folyóba került. A keletkezett hordalékhiány pótlására a folyó a saját medréből ragadja el a hordalékot, s megindul a bevágódási folyamat.

A durva mederanyagú, páncélozott medrek valószínűleg kevésbé érzékenyek a klímaváltozásra, mint a finom mederanyagú medrek. Azonban a klímaváltozás miatt gyakrabban előforduló, heves árvizek következtében a kisebb, nagy esésű folyókon gyors és jelentős medersüllyedés (és medertágulás) tapasztalható (pl. Ontario folyói; Ashmore és Church 2001). A taiwani Bachang folyón a gyakori trópusi ciklonok okozta intenzív árvizek (villámárvizek) szintén jelentősen erősítik a medereróziót (Huang et al. 2014).

A klímaváltozás és a területhasználatban bekövetkező változások adott esetben igen nehezen különíthetők el egymástól. Általánosan az feltételezhető, hogy a kisebb vízgyűjtőkön a területhasználat, a nagyobb vízgyűjtőkön pedig a klímaváltozás hatásai a meghatározók.

### 3.2.2 Tektonikai mozgások

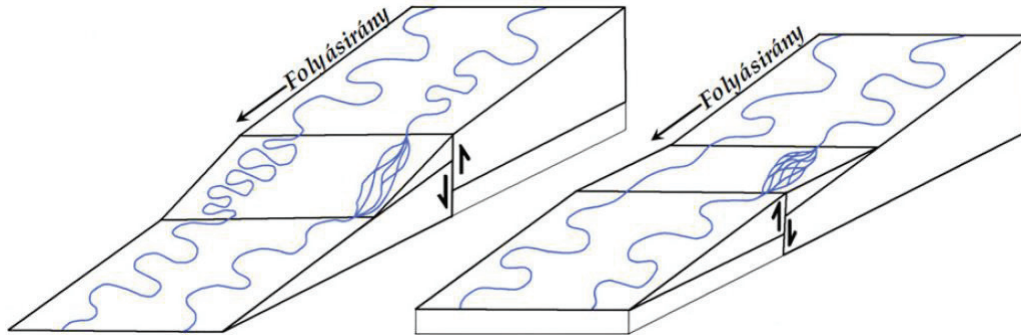
A tektonikailag aktív területeken a folyóhálózatot közvetlenül befolyásolják a szerkezeti mozgások (Timár 2003), a kis esésű folyók különösen érzékenyek a tektonikai mozgásokra (pl. Amazon; Holbrook és Schumm 1999), a nagy erejű földrengések pedig azonnali és rendkívüli változásokat eredményezhetnek (pl. a taiwani Taan folyó; Huang et al. 2013). A tektonikai mozgások hatására megváltoznak a lejtésviszonyok (magsüllyednek vagy kiemelkednek területek), amelyhez a folyók folyásirányuk megváltoztatása, illetve alakjuk (esetleg alaktípusuk) alakítása útján alkalmazkodnak (Ouchi 1985). Az aktív tektonika indikátorai például a meanderképződés, fonatosodás, a meder szélességének változása, degradáció vagy a folyóvölgyekben található alluviális teraszok (Schumm 1986, Petrovszki 2013).

A tektonikai hatások érhetik a folyót a medrével párhuzamosan, illetve arra merőlegesen is. Holbrook és Schumm (1999) szerint a folyó hossz-szelvényében jellemzően a következő változások jelentkeznek: 1) elhajlás, a kiemelkedett terület megkerülése az alacsonyabban fekvő területek irányában, 2) feltöltődés a megsüllyedt, illetve erózió a kiemelkedett területeken, 3) a folyóalak megváltozása a megváltozott esés kompenzálására, 4) a növekvő esés hatására mind nagyobb méretű szemcsék indulnak meg a mederfenéken (és fordítva).

Természetesen a folyók mozgását is a gravitáció alakítja, így amikor kiemelkedésbe ütközik a folyó, a legegyszerűbb megoldás, ha megkerüli azt a mélyebb területek felől – ez jellemzően hirtelen váltásként mutatkozik meg a folyó vonalvezetésében. Azonban, ha a folyó bevágódása nagyobb mértékű, mint a kiemelkedés, vagy a kiemelkedő területet igen nehéz lenne megkerülni, akkor a folyó egyszerűen csak átvág a kiemelkedésen. Hirtelen elhajlást okozhat az is, amikor egy frissen megsüllyedt terület téríti el a folyót az eredeti pályájától.

Ouchi (1985) egy laboratóriumi modellen keresztül vizsgálta a fonatos, illetve meanderező folyók hossz-szelvénye mentén bekövetkező gyűrődések hatását. A kiemelkedett zónában a fonatos meder pusztulása indult meg, bevágódott, teraszok formálódtak, míg felemelkedés alatt az így erodálódott mederanyag kiüledésének hatására feltöltődött a meder. Süllyedés hatására a megsüllyedt terület felső végén keletkező töréspont szintén fokozatosan erodálódik, enyhítve ezzel a mederesés hirtelenségén, s

feltöltve a megsüllyedt területet. Az esés növekedésének hatására a fonatosság is növekedett, míg az esés csökkenése az alaktípus egyszerűsödését vonta magával (4. ábra). A fonatos alaktípussal szemben egy meanderező folyó esetében a tektonikai mozgások legfontosabb hatása a folyó kanyargósságának (kanyarfejlettségének) növekedése volt. A meanderező folyó a völgylejtés növekedését a kanyarfejlettség növelésével, vagyis kanyargósabb, hosszabb útvonal kialakításával igyekszik kompenzálni (Ouchi 1985, Holbrook és Schumm 1999).



4. ábra: A vertikális mozgások hatása egy meanderező folyó alakjára (Petrovszki 2013)

A mederesés változásának megfelelően változik a vízfolyás energiája, hordalékszállító képessége, így közvetlen hatással van a szállított hordalék szemcseméretére is (Lane 1955). Sőt, a tektonikai mozgások átalakítják a felszíni domborzatot is, amely változást eredményezhet a vízgyűjtőn a hordalék útvonalában, így akár máshonnan is érkezhethet a folyóba hordalék, vagy éppenséggel hiány is keletkezhet a hordalékforrásban – s amennyiben változatlan vízhozam mellett hiány keletkezik a hordalékhozamban, medermélyülés indulhat meg (Schumm 1977).

A tektonikai mozgások térben nagyobb változást okoznak, mint a klímaváltozás, illetve az antropogén hatások. Holbrook és Schumm (1999) szerint, ha a tektonikus vető friss, vagy hosszabb inaktivitás után keletkezett, akkor hatása kimutatható – azonban, ha a tektonikai mozgások már hosszabb ideje tartanak, akkor egyéb, erősebb hatások mellett már nehéz felismerni és egyértelműen kijelölni a tektonikai aktivitás okozta hatásokat. Azok a folyószakaszok azonban, ahol nem történt folyószabályozási beavatkozás, és nem torkollik be egyetlen mellékfolyó sem, valószínűleg az aktív tektonika hatására alakulnak (Schumm 1986, Petrovszki 2013).

### 3.2.3 Folyómeder oldalirányú mozgása

A folyómeder oldalirányú vándorlása süllyedő területeken vagy a folyók hordalékkúpján szokványos jelenség, amely a folyók egy irányba mutató kanyarátvágódásain és mederkitörési jelenségeken keresztül valósul meg (Timár 2003). Ezek a folyamatok rendszerint a mederre merőlegesen jelentkező szintkülönbség-változások következménye.

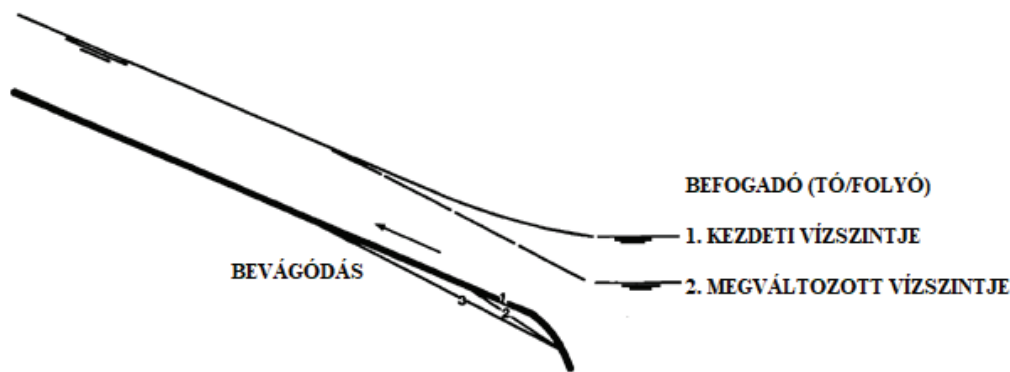
Egy kialakult vagy kialakulófélben lévő meander a kanyarulat külső ívének eróziója, illetve a belső ív feltöltődése útján fejlődik tovább. Ezzel egyidejűleg fokozatosan lejjebb vándorol a folyó vonalán, s újabb kanyarulatokat alakít ki. A meanderező meder vonala tehát állandóan változik. Az oldalirányú elvándorlás során azonban hirtelen változások is bekövetkeznek, amelyek során egyes, jellemzően magasabb fekvésű területek hirtelen a folyó másik partjára kerülnek (Timár 2003). Megjegyzendő, hogy ilyen hirtelen, oldalirányú elmozdulás tektonikai okokból is megtörténhet, például a folyóvölgy megbillenésének hatására.

Oldalirányú elmozdulást okozhat az is, ha a folyó egyik partján beömlő mellékfolyó hordalékhozama lényegesen nagyobb a másik part irányából érkező mellékfolyókéénál (pl. a Pó folyót az Alpokból bőséges hordalékhozammal érkező mellékfolyók a völgy túlsó peremére tolták; Timár 2003).

A folyók oldalirányú mozgásainak hatására akár a mellékvízfolyások torkolata is feljebb kerülhet a mellékfolyón, miáltal a mellékfolyó hossza megrövidül, az esés pedig megnövekszik – ez pedig bevágódási folyamatot indít el a felvízi irányban. Az alaskai Brown Creek folyón jelentős erózió következett be, amikor a Lowe folyó az addigi vonalvezetésétől eltérve, a korábbi torkolattól feljebb találkozott össze a Brown Creek folyóval (Galay 1983).

### 3.2.4 Erózióbázis megsüllyedése

Egy vízfolyás erózióbázisa alatt a hossz-szelvénye legmélyebben fekvő pontját, vagyis jellemzően a torkolati területet értjük. Az erózióbázis lehet egy tenger, egy tó, de akár egy tározó vagy egy magasabb rendű vízfolyás is, amelynek a vizsgált folyó egy mellékfolyója. Amikor a befogadó vízszintje lesüllyed, törés keletkezik a betorkolló vízfolyás addigi felszín görbében, amelyet a medre mélyítésével kompenzál, vagyis felvízi irányban bevágódás történik (5. ábra).



5. ábra: A bevágódási folyamat megindulása az erózióbázis süllyedésének következtében (Galay 1983)

Tavi erózióbázis megsüllyedésére példa, hogy amikor a Kaszpi-tengerbe egyre kevesebb víz érkezett az azt tápláló vízfolyásokból történő öntözés miatt, a Kaszpi-tenger vízszintje csökkent, így a betorkolló folyók felszínese, majd mederesése is megváltozott – megkezdődött a bevágódás a felvízi irányban (Galay 1983).

## 3.3 Jellemző medermélyülési folyamatok hazai folyóinkon

Legtöbb folyónkon medermélyülés figyelhető meg (SOLVEX-BME 2014a-d). A Kárpát-medence tektonikai mozgásainak következtében az Alföld és a Kis-Alföld folyamatosan süllyed, magával vonva a síksági folyók medrének süllyedését is. A kiemelkedő területeken (pl. Dunántúli-középhegység) a teraszképződés mellett szintén a folyók bevágódása jellemző (ld. 3.2.2. fejezet). Az emberi beavatkozások tovább növelték a medermélyülési folyamatok intenzitását. A jelentős folyószabályozási beavatkozások hatására megnövekedett a folyók munkavégző képessége, a vízlépcsők (hazai és határon túli, felvízi) azonban nagymértékben csökkentették az egyes folyókon felülről érkező hordalék mennyiségét. A Duna és a Tisza süllyedése hosszú távon a mellékfolyók fokozódó bevágódását is



magával vonja (az erózióbázis süllyedése miatt), a Dunán és a Dráván pedig a mederkotrás is nagymértékben hozzájárult a medersüllyedéshez.

A Duna-vízgyűjtő magyarországi részének felülvizsgált, 2015. évi vízgyűjtő-gazdálkodási terve („VGT2”) alapján a következő víztesteken jelentős: a Dráva teljes magyar szakasza (kb. 3-4 cm/év), a Duna Szob fölötti, illetve Dunaföldvár alatti szakasza (kb. 1 cm/év), a Maros keleti és torkolati szakasza, a Mosoni-Duna alsó, torkolati szakasza, a Rába torkolati szakasza, a Sebes-Körös felső szakasza és a Tisza Kiskörétől a Hármaskörösig tartó része. A medermélyülés összesen kb. 670 km hazai folyószakaszt érint (OVF 2015). A hazai folyókra jellemző medermélyülés intenzitását, illetve a kiváltó okokat a 2. táblázat foglalja össze, a folyamatokat pedig az egyes alfejezetek ismertetik röviden.

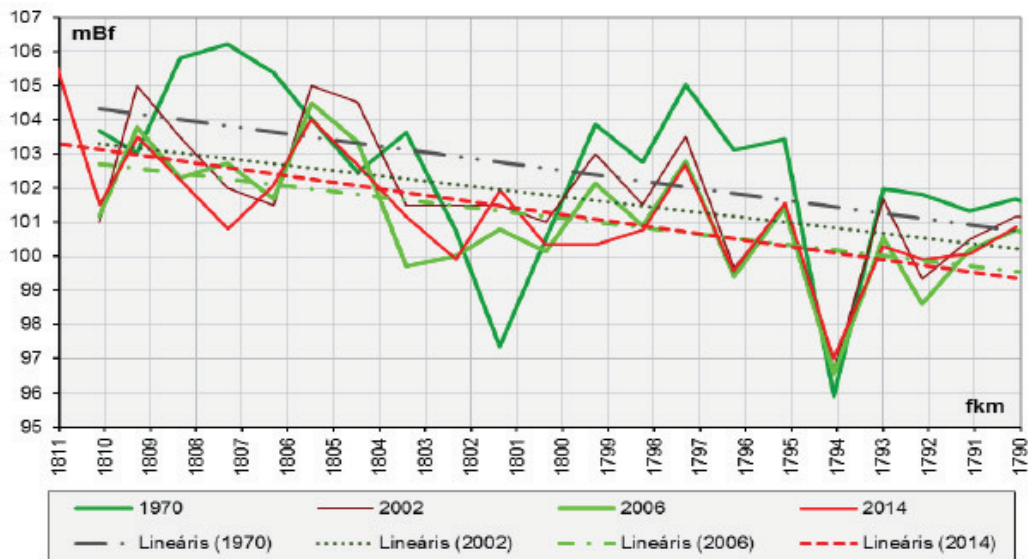
2. táblázat: Hazai folyók medersüllyedésének okai, mértéke (összefoglaló táblázat)

Folyó	Szelvény/Szakasz	Időszak	Medersüllyedés (cm/év)	A kiváltó ok(ok)	Forrás
Duna	teljes Mo.	1901-2005	0.67 - 2.07	vízlépcsők, kotrás, folyószabályozás (sarkantyúk), tektonikai mozgások	Goda et al. (2007)
	teljes Mo.	n.a.	1.00		OVF (2015)
	1850-1790 fkm	1959-2016	5.26		DanubeSediment (2019)
	1850-1790 fkm	1971-2016	3.33		DanubeSediment (2019)
	1850.20-1809.76 fkm	1938-2002	2.31-6.25		SOLVEX-BME (2014a)
	1809.76-1786.00 fkm	1970-2014	3.40-4.20		SOLVEX-BME (2014b)
	1786.00-1729.35 fkm	1949-2014	1.39-2.20		SOLVEX-BME (2014c)
	1729.35-1699.50 fkm	1970-2013	4.00-6.00		SOLVEX-BME (2014d)
	1628.45-1586.00 fkm	1965-2013	2.20-2.40		VITUKI (2014a)
	1605-1525 fkm	1996-2016	1.60		DanubeSediment (2019)
Hernád	teljes Mo.	1960-1990	2.00	csak a mederkotrásból	Goda et al. (2007)
	teljes Mo.	1957-2009	1.25	tektonikai mozgások, vízviszatarítás	Blanka (2010)
Ipoly	teljes Mo.	1974-1985	0.23	csak a tektonikai mozgások	Joó (1992)
	94.38-78.56 fkm	2010-2014	0.50-0.75	folyószabályozás (kanyarulat-átvágás)	VITUKI (2014b)
Maros	alsó szakasz	1876-1912	1.94-6.94	folyószabályozás (kanyarulat-átvágás, partbiztosítás, terelőmű), tektonikai mozgások, klímaváltozás, kotrás	Kiss és Nagy (2012)
	24.50-21.92 fkm	1960-1990	2.70		Sipos (2006)
Mosoni-Duna	alsó szakasz	1972-2004	3.13	folyószabályozás (sarkantyúk, vezetőküvek, kotrás, mederburkolás), a Duna medersüllyedése (erózióbázis-süllyedés)	SOLVEX-BME (2014e)
	torkolati szakasz	1972-2004	6.25-7.81		SOLVEX-BME (2014e)
Rába	51.24-41.17 fkm	1958-2002	2.27	kotrás, folyószabályozás (partbiztosítás)	SOLVEX-BME (2014f)
	41.17-29.04 fkm	1958-2002	1.82		SOLVEX-BME (2014f)
	29.04-14.02 fkm	1958-2002	4.55		SOLVEX-BME (2014f)
	14.02-0.00 fkm	1958-2002	2.73		SOLVEX-BME (2014f)
Sebes-Körös	felső szakasz	1969-1993	1.20-2.00	vízlépcsők	Alföld-Planum (2014)
Tisza	teljes Mo.	1842-1961	0.30-3.10	folyószabályozás (kanyarulat-átvágás, partbiztosítás, töltésepítés), vízlépcsők, tektonikai mozgások	Csuka (1971)
	246.20-173.60 fkm	1901-1976	2.00		VIZITERV Consult (2014)
	225-205 fkm	1960-2006	2.17		Fiala et al. (2006)

### 3.3.1 Duna

A Duna magyarországi szakaszán az utóbbi évtizedekben szignifikáns medermélyülés következett be (Goda et al. 2007, DanubeSediment 2019). Goda et al. (2007) először 1901-2005 között a 15 éves átlagos vízszintek változását tanulmányozták Komáromtól Mohácsig – a tapasztalt medersüllyedés 0,67-2,07 cm/év között változott. A kereszt-szelvények változását korszerű mederfelmérések alapján vizsgálták, amelyen keresztül a medersüllyedés közvetlenül is kimutatható. DanubeSediment elnevezésű Interreg projekt keretein belül készült tanulmány 1959-2016 között vizsgálta a Duna magyarországi szakaszán bekövetkezett morfológiai változásokat. A vizsgálat alapján a teljes szakaszon medermélyülés ment végbe.

A medersüllyedés egyik legfontosabb oka, hogy a Duna felső szakasza (vagyis a forrástól a Morva torkolatáig, az 1790 fkm-ig) teljesen lépcsőzött, így a folyó a hordalékától jelentősen megfosztva (a fentről érkező görgetett hordalék csapdázódik a vízlépcsők által) lép Magyarország területére az 1850 fkm-nél, melyet a betorkolló mellékvízfolyások hordalékhozama sem növel. A hordalékszegény víz hordalékszállító kapacitását, erodáló képességét átmenetileg tovább növeli a hirtelen eséscsökkenés (0,34‰-ról 0,07‰-re) az 1880-1710 fkm szakaszon. A Duna felső szakaszának hazai végén, Gönyűig (1790 fkm) 1959-2016 között átlagosan 5,26 cm/év süllyedés következett be, de a süllyedés intenzitása fokozatosan csökkent, a medersüllyedés 1970-2014 között (6. ábra) már csak 3,33 cm/év mértékű volt. Ezt a folyamatot 1968-1991 között tovább erősítette a mintegy 64 millió m<sup>3</sup> kavics kitermelése is a mederből (SOLVEX-BME 2014b).



6. ábra: A dunai mederfenék változása Szap és Gönyű között (1970-2014) (forrás: SOLVEX-BME 2014b)

A 19. század óta végeznek folyószabályozási munkálatokat: a kanyarulat-átvágások, sarkantyúk és partbiztosítások hatására csökkent a folyó hossza, s nőtt a mederesés – a megnövekedett hordalékszállítási kapacitás hatására medererózió következett be. A kanyargó jellegből adódó oldalazó erózióknak Budapest partvédő művei ellenállnak, így a főváros területén helyenként igen mélyre vágódik a meder.

Folyószabályozási céllal a mai napig végeznek mederkotrás munkálatokat, melynek elsődleges célja a hajózási útvonal fenntartása. Több évtizeden keresztül azonban jelentős mértékű ipari célú kavicskitermelés is folyt a Dunán – az 1960-1990 közötti mederkotrások által kitermelt kavicsmennyiség önmagában 60 cm süllyedést okozna (Goda et al. 2007).

Gönyű és Esztergom között a Duna a középszakasz jellegnek megfelelően kanyarogva bevágódó, Dunaalmástól pedig a Dunántúli-középhegység lejtői és teraszai kísérik. Ezek a teraszok tektonikai hatásokról tanúskodnak: a hegység folyamatos kiemelkedésével párhuzamosan a Duna medre bevágódott (Somogyi 1997, Gábris és Nádor 2007).

A rövid távú vizsgálat (1996-2016) alapján továbbra is mélyül a meder a teljes szakaszon – intenzitását tekintve az 1605-1525 fkm közötti szakaszon a legerősebb a medermélyülés, körülbelül 1,60 cm/év. Ezen a szakaszon 1996 és 2013 között jelentős mederkotrást végeztek folyószabályozási céllal. A kiemelt szakasz fölötti és alatti szakaszok azonban már jóval stabilabbak, a medersüllyedés becsült értéke kevesebb, mint 1 mm/év.



### 3.3.2 Hernád

A tektonikai mozgások eredményeként a pleisztocén elején a Sajó és a Hernád völgye erősen besüllyedt, amely fokozta a bevágódást. A szerkezeti mozgások következtében bekövetkező süllyedés mértéke jelenleg 2,30 mm/év a Hernád-völgyben (Joó 1992). Blanka (2010) tanulmánya alapján 1957-2009 között 1,25 cm/év medersüllyedés történt a Hernád magyarországi szakaszán a vízviszatarítás miatti mederszűkülés következtében.

### 3.3.3 Ipoly

A folyószabályozások (főként átvágások) hatására az Ipoly hossza 1961-2010 között jelentősen megrövidült. Ezzel együtt megnövekedett a mederesés, fokozódott a medererózió. A Balassagyarmat-Ipolyvece közötti szakaszon a szabályozások óta eltelt időszakban átlagosan 2-3 cm medersüllyedés következett be. (VITUKI 2014b)

### 3.3.4 Maros

A földtörténeti fejlődése során a Marost többször is bevágódás jellemezte a tektonikai mozgások, illetve a klímaváltozás hatására. A negyedidőszak interglaciálisáiban jellemzően finomabb és kevesebb üledék keletkezett, a nedves klíma miatt viszont megnövekedett a vízhozama (Sipos 2006). A két változás együttesen medersüllyedést eredményezett (Schumm 1977 alapján). A holocén kori bevágódás és teraszképződés után medre állandósult.

A Maros magyarországi szakasza hazánk egyik legdrasztikusabban szabályozott folyószakasza (Kiss és Nagy 2012), alsó 28 km-es szakaszának 50-60%-án van valamilyen partbiztosítás vagy terelőmű, melyek jelentős mederszűkülést okoztak (Kiss 2014). Az eredetileg meanderező-anasztomizáló folyót a 19-20. századi folyószabályozások során kanyarulat-átvágásokkal megnövelt (helyenként megduplázott) esésű (Kiss és Nagy 2012), csaknem teljesen egyenes mederbe kényszerítették, amely szinte azonnal mérhető bevágódást eredményezett, mely alulról felfelé haladt. 1876 és 1912 között 0,7-2,5 métert (1,94-6,94 cm/év) süllyedt a Maros medre. Megjegyzendő, hogy ez a folyamat összefüggésbe hozható a Tisza bevágódásával is, amely a Maros erózióbázisának süllyedését vonta magával.

A Maros jelenlegi bevágódási folyamata fentről lefelé halad, melynek hátterében a román szakaszon (egész pontosan Lippa és Szemlak között) történő intenzív kavicsbányászat állhat. Ezen a szakaszon a Maros teljes görgetett hordalékhozamát kitermelik, sőt, még a mederanyagból is bányásznak kavicsot. Az így keletkező hordalékhiány hatására a kitermelés alatt megindul a meder eróziója, a bevágódási folyamat. Mértéke azonban jóval kisebb (kb. 20-40 cm), mint a folyószabályozások hatására bekövetkezett süllyedés.

### 3.3.5 Mosoni-Duna

A Mosoni-Dunán a medersüllyedés mértéke a torkolathoz közeledve fokozatosan nő – szinte a teljes alsó szakaszon elérte az 1 m-t 1972-2004 között (kb. 3,13 cm/év). A torkolatnál a Duna medersüllyedése miatt bekövetkező erózióbázis-süllyedés még ennél is nagyobb medersüllyedést okoz (6,25-7,81 cm/év). A medermélyülésben feltételezhetően szerepet játszó folyószabályozási beavatkozások: párhuzamművek, sarkantyúk, kotrás szabályozási céllal, mederburkolás Győr belterületi szakaszán. (SOLVEX-BME 2014e)

### 3.3.6 Rába

A Duna medersüllyedése és a Rábán az 1960-70-es években végzett kotrások hatására jelentős medermélyülés következett be a Rába teljes magyarországi szakaszán. A rábai kavicskitermelés a 2000-es évek elejére gyakorlatilag meg is szűnt. A középső szakaszon (Árpás-Ragyogó) partbiztosítások akadályozzák az oldalirányú mozgását, amihez a folyó a medre mélyítésén keresztül alkalmazkodik. (SOLVEX-BME 2014f)

### 3.3.7 Sebes-Körös

A Sebes-Körös medre 1969 és 1993 között az 50,0 fkm fölötti szakaszon átlagosan 30-50 cm-t süllyedt, melynek oka az, hogy a román szakaszon épített tározók miatt fentről hordalékszegény víz érkezik. Az 50,0 fkm alatti szakaszon többnyire csak a folyószabályozási művek okozta lokális, elhanyagolható mértékű mederváltozások történtek. (Alföld-Planum 2014)

### 3.3.8 Tisza

A 19-20. századi szabályozások előtt a Tisza és mellékfolyói az Alföldön kb. 20 000 km<sup>2</sup> területet öntötték el rendszeresen vagy időszakosan (Timár 2003). A túlfejlett kanyarulatok átvágásával és töltésépítésekkel kívánták megoldani a vízrendezést, a területek ármentesítését, valamint az árvizek biztonságos levezetését (Timár 2003). A Tisza magyar szakaszának 44%-án (csak az Alsó-Tiszán ez az arány 51%) történtek partbiztosítások, melynek hatására mederszűkülés következett be (Kiss 2014). A folyószabályozások hatására a Tisza hossza 37%-kal csökkent, esése 61%-kal növekedett – s az egész hosszán állandó, lassú medersüllyedés következett be (Csuka 1971, Somogyi 1997), 1842-1961 között átlagosan 0,3-3,1 cm/év) (Csuka 1971), egyes szakaszokon a bevágódás mértéke akár 300 cm is lehetett (Károlyi 1960). A tiszai vízlépcsők létesítése miatt hordalékhiány keletkezett a hordalékszállításban. A Maros torkolatáig hordalékszegény Tisza Csongrádtól Szegedig kanyarogva bevágódó, Mindszent és Algyő között (225-205 fkm) például 1960 és 2006 között 1 m-t süllyedt a meder (kb. 2,17 cm/év) (Fiala et al. 2006).

Gábris és Nádor (2007) vizsgálta a Tisza tektonikai mozgások hatásaira bekövetkezett alak- és mederváltozásokat. A folyamatosan süllyedő Alföldön a folyók oldalirányú vándorlása a síkság tektonikus eredetű megbillenésének következménye, melynek során többször is bevágódott a meder. Külön kiemelendő, hogy a Tisza a negyedidőszakban a leggyorsabban süllyedő területeken folyik keresztül (Timár 2003). Az Alföld még ma is aktívan süllyed, de ahogy azt Holbrook és Schumm (1999) említi, a hosszabb ideje tartó változásokat már nehezen lehet felismerni és elkülöníteni az egyéb, erősebb hatások mellett, mint amilyen például a folyószabályozás is.

## 3.4 A Dráva mederalakváltozásával foglalkozó korábbi tanulmányok összefoglalása

A Dráva intenzív medersüllyedése még a 19. században, a folyószabályozások hatására kezdődött meg (Bonacci és Oskoruš 2010), amelyet a 2011-ig tartó jelentős kotrási tevékenység, valamint a felső szakaszon épített vízlépcsők tovább erősítettek. A különböző vizsgálatok (közvetett és közvetlen) alapján a Dráva magyarországi szakaszán 1970 óta átlagosan 1-4 cm/év ütemben süllyedt a meder (DDVIZIG 2014a-c, Inno-Water 2014, Burián et al. 2019), vagyis az elmúlt 50 évben 0,5-2 m medermélyülés következhetett be. A Barcs fölötti szakaszon intenzívebb a süllyedés (2,00-3,15 cm/év; VITUKI 2003), míg a Barcs alatti szakaszon Drávaszabolcsig jóval mérsékeltebb (0,50-1,08 cm/év; VITUKI 2003), az Eszék alatti, torkolati szakaszon pedig – feltehetőleg a Duna befolyása miatt –

kismértékben megnövekszik (0,86-2,19 cm/év; Dadić et al. 2015). A tektonikus mozgásokból adódó süllyedés mértéke egy nagyságrenddel kisebb a kimutatott medersüllyedés mértékénél (Joó 1992). Amikor egy folyó dinamikája külső hatásokra megváltozik, a folyó természetes módon törekszik egy új egyensúlyi állapot elérésére. A legfrissebb tanulmányok alapján a Dráva medre már stabilizálódni látszik (BME 2019).

### 3.4.1 A Dráva medersüllyedésének okai

A Dráva intenzív medersüllyedése többféle hatás (természetes és antropogén) következménye, melyek egymásra tevődnek, egyéni hatásuk nehezen különíthető el, mértékük nehezen becsülhető. Korábbi tanulmányok (pl. VITUKI 2003, EJF 2012, Burián et al. 2019) a folyószabályozási beavatkozások, a folyami kotrási tevékenység és a horvát vízlépcsők hatásait emelték ki a Dráván bekövetkezett intenzív medermélyülési folyamat legfőbb kiváltó okaiként.

A 18. század második felében az egész ország területén megkezdődtek a hagyományos folyószabályozási munkálatok (ld. 3.1.2. fejezetben felsoroltak). A Dráva túlfellett kanyarulatainak átvágásával 40%-kal csökkent a folyó hossza, s szinte azonnal megindult a bevágódási folyamat is. A Barcs fölötti szakasz alapvetően természetes állapotú, főként lokális jellegű beavatkozások történtek. A Barcs alatti szakaszon a partbiztosítások (kőszórás) és a hajózási útvonal javítására széles körben alkalmazott sarkantyúk, vezetóművek az oldalerózió gátlásával, a meder szűkítésével fokozták a medersüllyedést.

A folyószabályozási és fenntartási célú kotrások mellett 1982-2011 között a Barcs fölötti szakaszon kavicsot, a Barcs alatti szakaszon pedig homokot (összesen 6,29 millió m<sup>3</sup> térfogatban) termeltek ki ipari céllal. 2011-ben rendelték el az ipari célú kotrások betiltását, azóta engedélyköteles tevékenység és csak folyószabályozási és fenntartási céllal végezhető. A kotrások leállításával megszűnt a medersüllyedések egyik fő okozója (EJF 2012).

A felső szakaszon létesített gátak és tározók visszatartják a görgetett hordalékot és a lebegtetett hordalék egy jelentős részét is. Hatásuk a két legalsó (varasdi és Donja Dubrava-i) vízlépcső üzembe helyezése után vált igazán jelentőssé az Őrtilos (235,90 fkm) alatti szakaszon. A vízlépcsők hatásaként gyakorlatilag csak a saját medréből kimosott mederanyag halad görgetett hordalékként a Dráva alsó szakaszán.

A Zákány-Barcs szakaszon a folyó erőteljesen bevágódik az intenzíven süllyedő medence peremén (Majorlaki 1976), de a tektonikus mozgásokból adódó süllyedés mértéke egy nagyságrenddel kisebb a kimutatott medersüllyedés mértékénél (Joó 1992). A torkolat előtti intenzívebb medermélyülés feltehetőleg azzal magyarázható, hogy az Eszék alatti szakaszon jelentős hatással van a mederszintre a Duna (mint erózióbázis) szintje.

### 3.4.2 A Dráva medersüllyedésének mértéke

Korábbi tanulmányok vizsgálatai alapján (3. táblázat) a Dráva magyarországi szakaszán átlagosan 2-4 cm/év a medersüllyedés mértéke (DDVIZIG 2014a-b, Inno-Water 2014, Burián et al. 2019). A Barcs fölötti szakaszon a horvátországi vízlépcsők és az intenzív kavicskitermelés hatására jelentősebb a medermélyülés üteme (kb. 2-4 cm/év; vagyis az elmúlt 50 évben összesen 1-2 m), mint a Barcs alatti szakaszon, ahol főként a folyószabályozások (sarkantyúk és partbiztosítások) és a kevésbé intenzív homokkitermelés hatásai érvényesülnek (így a medermélyülés üteme kb. 0,5-2 cm/év; vagyis az elmúlt 50 évben mintegy 0,25-1 m).

A Dráva medersüllyedésével foglalkozó korábbi tanulmányok közvetett és közvetlen módszereket alkalmaztak a medersüllyedés ütemének meghatározására (4. táblázat). A közvetett eljárások során a vízállás- és vízhozam-idősorok változása, vagy a vízhozamgörbék eltolódása alapján következtetnek a medersüllyedésre, a közvetlen módszerek során a keresztshelvények alakváltozásait mérik, vagy a kotrási térfogatok, illetve a görgetett hordalékszállítás különbsége alapján tesznek becslést.

A vízállás és/vagy vízhozam sokéves idősorainak elemzése alapján könnyen felismerhető a medermélyülés folyamata, s évi átlagos üteme is becsülhető (EJF 2012). A vízhozamgörbe párhuzamos eltolódása szintén mederváltozásra utal (a medersüllyedést a jobbra tolódás jelzi). Ez utóbbi módszer előnye, hogy a mederalakító hatások összességét tükrözi, hátránya, hogy gyakran időbeli hézagok teszik bizonytalanná a becslést (EJF 2012).

Pusztán a kotrási térfogatok alapján 1993-2002 között a Bélavár-Barcs szakaszon 2,80 cm/év, a Barcs-Drávaszabolcs szakaszon pedig 0,50 cm/év medersüllyedés következett be (VITUKI 2003). A görgetett hordalékszállítás két mérési szelvény közötti különbségéből is lehet következtetni a medermélyülésre, hiszen a vizsgált szakaszon a görgetett hordalék jellemzően a Dráva saját medréből kerül a hordalékszállításba (a teljesen szabályozatlan szakaszokon természetesen a parterzió következtében is jelentős mennyiségű hordalék keletkezhet). Barcs fölött 0,35 cm/év, a Barcs alatti szakaszon pedig 0,58 cm/év-re adódott a medersüllyedés így becsült értéke a VITUKI (2003) munkája alapján.

A Dráva mentén telepített vízmércék közül a barcsi vízmérce a leghosszabb ideje üzemelő (telepítve 1872-ben; Mantuánó 1974), szelvényében rendszeres mederfelmérést is végeznek. A vízmérce szelvényére kimélyülés jellemző, melynek üteme 1972-2016 között kb. 2,50-4,74 cm/év volt (EJF 2012, DDVIZIG 2014a-b, BME 2019, Burián et al. 2019). A Bélavár és Barcs közötti VO szelvények évente kb. 2 cm mélyülést mutatnak 1972-2006 között (Kiss 2014).

3. táblázat: A Dráva medersüllyedésének mértéke korábbi tanulmányok alapján (összefoglaló táblázat)

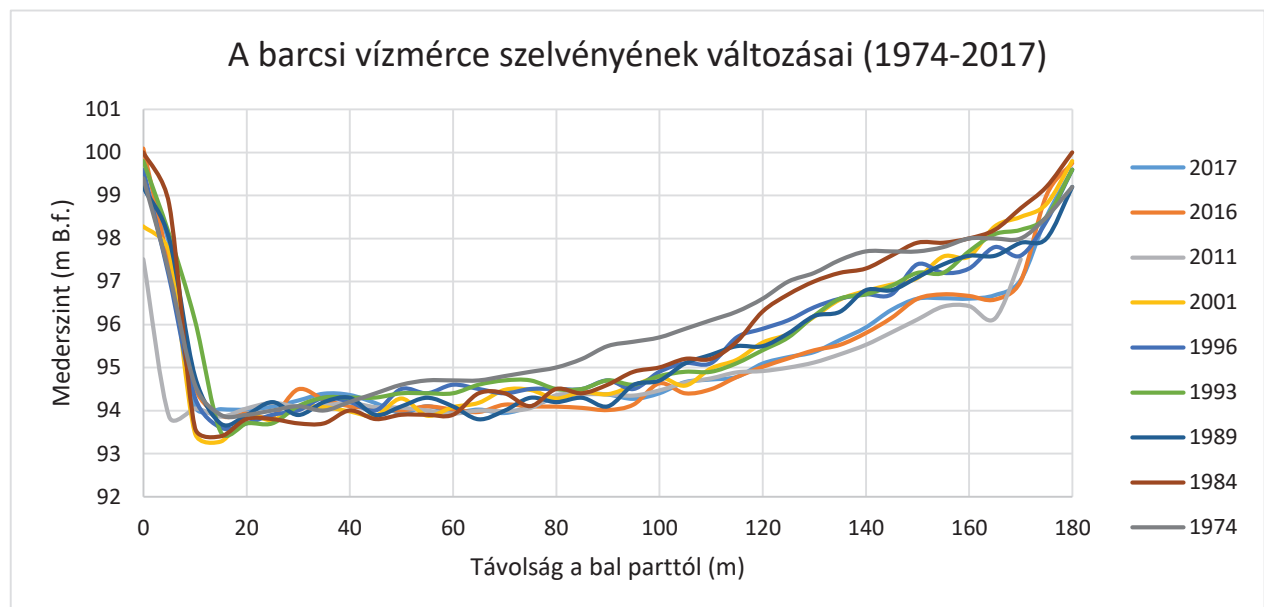
Szelvény/Szakasz	Szelvény/Szakasz (fkm)	Időszak	Medersüllyedés (cm/év)	Átlagos medersüllyedés (cm/év)
teljes Mo.	235.90-70.20	1970-2016	2.00-4.00	3.00
Órtilos	235.90	1960-2018	1.00-4.70	3.23
Órtilos	235.90	1980-2000	7.90-8.60	8.25
Zákány	227.10	1876-1968	1.41-2.46	1.91
Botovo	227.10	1946-2002	2.00-4.00	2.75
Novo Virje	198.80	1977-1987	3.00	3.00
Bélavár-Barcs	198.00-154.10	1972-2006	2.00-3.15	2.24
Barcs	154.10	1876-2018	1.75-4.74	3.04
Barcs	153.80	1970-2016	1.00-3.00	2.25
Barcs térsége	153.20-152.70	1998-2001	1.75	1.75
Terezino Polje	152.30	1875-2014	1.95-4.00	2.50
Barcs-Drávaszabolcs	154.10-77.70	1993-2002	0.50-1.08	1.08
Szentborbás	133.10	1970-2016	1.5	1.50
Donji Miholjac	80.60	1900-1968	0.26	0.26
Drávaszabolcs	77.70	1960-2018	< 0.50-3.02	1.84
Drávaszabolcs	77.70	1971-1979	5.00-8.00	6.50
Eszék	19.80	1876-1960	1.41	1.41
Eszék alatt	22.00-0.00	1886-2003	0.86-2.19	1.25

A Barcs alatti szakaszon a Dráva a Duna torkolatában levő hatalmas süllyedékbe ér, ahol – az alsó folyószakaszokra jellemzően – alapvetően feltöltő jellegű a folyó mechanizmusa (Lovász 1967). A Drávaszabolcs alatti szakaszon feltehetően már érvényesül a Duna visszaduzzasztó hatása (Lovász 1967, VITUKI 2003), illetve a kotrási ütem is eltérő a Barcs fölötti szakaszéhoz képest, melynek következtében mérsékeltebb a medersüllyedés (VITUKI 2003). Az 1971-1979 közötti 5-8 cm/éves medersüllyedés valószínűleg inkább a meder sarkantyúkkal történő beszűkítésének hatása (VITUKI 2003). A torkolat előtti intenzívebb medersüllyedés azzal magyarázható, hogy Eszéknél már teljes mértékben befolyásolja a Duna a vízállást és a folyó mechanizmusait (VITUKI 2003).

A Dráva medersüllyedésével foglalkozó tanulmányok eredményeit részletesen a 4. táblázat foglalja össze a fejezet végén.

### 3.4.3 Mederfelmérések Barcs térségében (1974-2019)

A barcsi vízmérce szelvényéből 1974 óta állnak rendelkezésre mederfelmérési adatok. Az 1974-2011 közötti időszakban egyértelműen folyamatosan mélyült a meder, míg 2011 óta már stabilizálódni látszik a meder (7. ábra) (BME 2019). Ennek oka az, hogy a folyómeder antropogén hatásokra való válaszába nem egy örökké tartó folyamat. A folyó természetes módon törekszik egy új egyensúlyi állapot elérésére, amely azonban jellemzően néhány évtized alatt beáll. Tekintve, hogy az utolsó vízlépcsőt 1989-ben építették, a kotrás pedig 2011-ben megszűnt a Dráván, a medermélyülési folyamat lassulására, s végül a meder teljes mértékű stabilizálódására lehet számítani (EJF 2012, BME 2019).



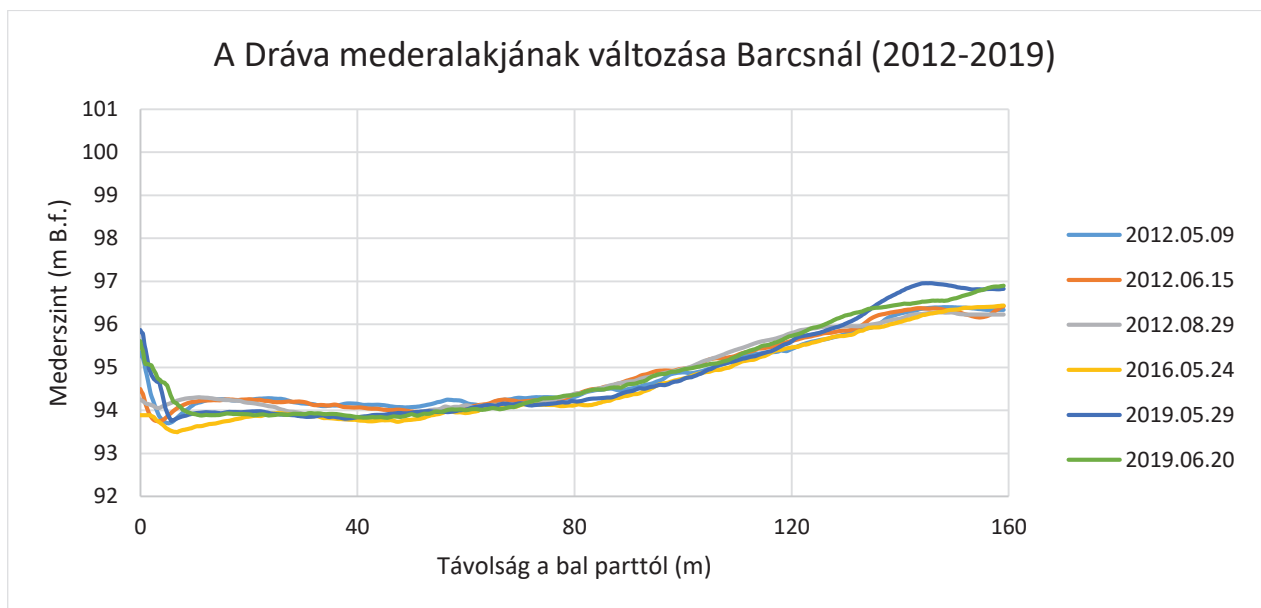
7. ábra: A barcsi vízmérce szelvényének változása 1974-2017 között (EJF 2012 és Burián et al. 2019 alapján)

Az 1974-2017 közötti időszakban átlagosan 1,80 cm-rel mélyült évente a barcsi vízmérce szelvénye. A medersüllyedés 1984 és 1989 között volt a legnagyobb mértékű, amikor is a teljes szelvény átlagosan 5,35 cm-rel mélyült évente. A keresztaszelvény bal fele az 1989-1993 közötti rövidebb időszaktól eltekintve 1974-2011 között egyértelműen süllyedt, átlagosan 2,93 cm/év intenzitással. A szelvény jobb fele dinamikusabban változik, 1984-1989 és 2001-2011 között például több, mint 10 cm/év medersüllyedés következett be. Az intenzív süllyedési szakaszok között azonban jellemzően gyors feltöltődés történt, így 1974-2017 között összességében 2,86 cm/év medersüllyedés ment végbe. 2011-

ben betiltották a kotrási tevékenységet a Dráván, amellyel a medersüllyedés egyik legfőbb oka megszűnt, s 2011-2017 között már jellemzően töltődött a meder (1,63 cm/év ütemben).

Az EJF 2012-es, illetve a BME 2019-es tanulmánya során nem pontosan a vízmérce szelvényében végezték a mederfelmérést, így a barcsi mederváltozásokat külön vetették össze (8. ábra). A mérések alapján a meder már egyértelműen stabilizálódni látszik. A vizsgált 7 év alatt 2016-ban mérték a legnagyobb mélységeket (átlagosan 4,74 cm-t mélyült évente a meder 2012-2016 között), 2016 után időszakban azonban átlagosan 10 cm-es feltöltődés következett be. A teljes időszak mederváltozásait tekintve átlagosan 0,10 cm/év ütemben töltődött a meder.

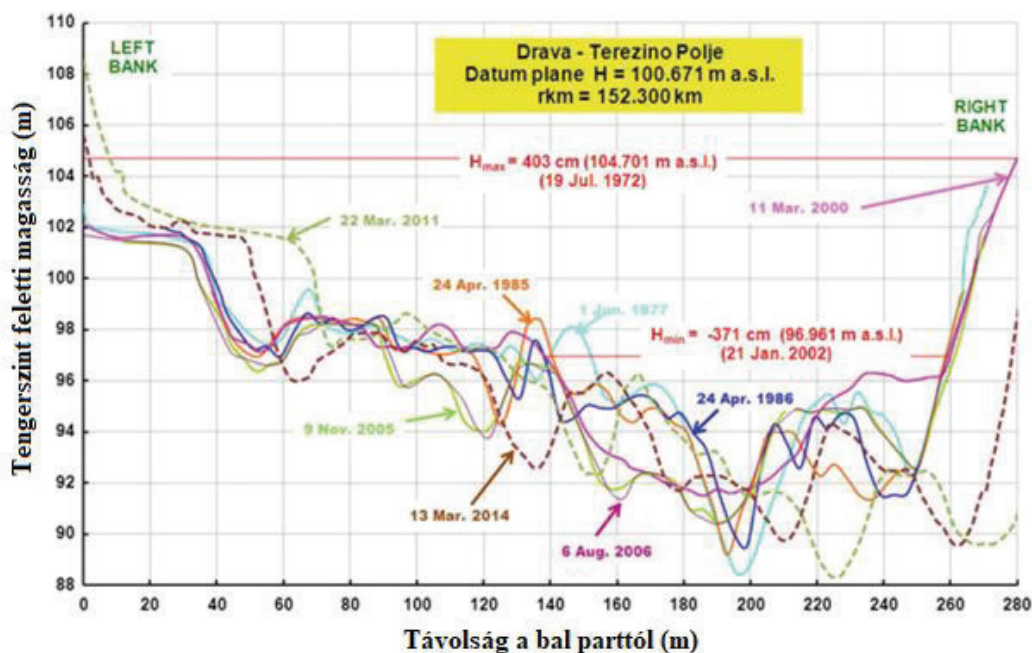
A 2012-es mederfelmérési sorozat alapján egy kisebb árhullám gyors mederalakító hatását is vizsgálták. A 700 m<sup>3</sup>/s vízhozam 30-60 cm kimosásokat okozott a szelvény közepén és bal oldalán. A jobb part tövében is kimélyülés keletkezett, amely azonban már az árhullám levonulását követő 2 hónapban fel is töltődött.



8. ábra: A Dráva mederalakjának változása Barcsnál 2012-2019 között (BME 2019)

A következő ábrán (9. ábra) látható, hogy a Terezino Polje-i horvát vízmérce szelvénye (152,30 fkm) igen intenzíven változott 1977-2014 között. A jobb part eróziója és a bal part folyamatos épülése mellett a keresztzelvény átlagosan kb. 3-4 cm/év ütemben mélyül. Bonacci és Oskoruš (2019) szerint elmondható, hogy a többi horvát vízmérce szelvényében is hasonló medermélyülési és általános medereróziós folyamat megy végbe.



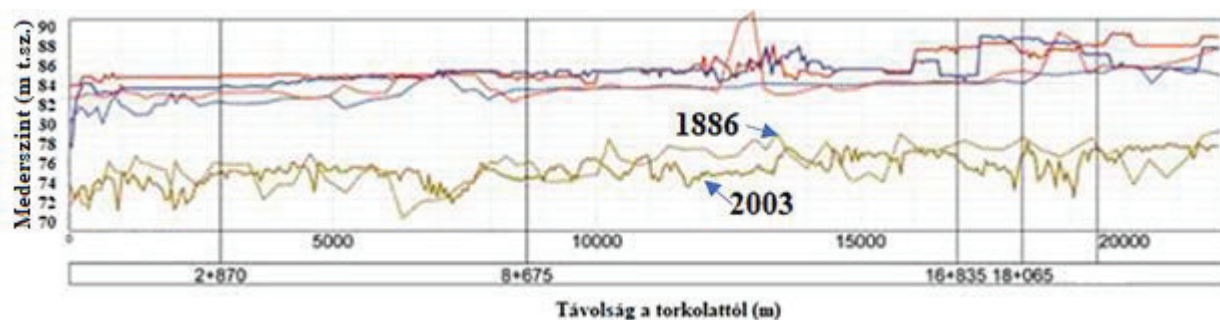


9. ábra: A Terezino Polje-i horvát vízmérce szelvényének változásai 1977-2014 között (Bonacci és Oskoruš 2019)

A VITUKI 1998-ban és 2000-ben 100 méterenként (összesen 14 szelvény) felmérte a Dráva 157,00-155,60 fkm közötti szakaszát (Barcs fölött). A mederfelmérések alapján a vizsgált szakasz a legnagyobb részén 0-50 cm-rel (átlagosan 14,3 cm-rel) töltődött 2 év alatt, helyenként azonban 100 cm-nél nagyobb kimélyülést is tapasztaltak. Ezzel szemben a Barcs alatti szakaszon (153,20-152,70 fkm) 1998 és 2001 között átlagosan 7 cm-rel mélyült a meder. Barcs térségében a VITUKI vizsgálatai alapján 1998-2000 között átlagosan 8 cm-rel töltődött fel a meder.

### 3.4.4 Mederfelmérések az Eszék alatti (torkolati) szakaszon

Dadić et al. (2015) az Eszék alatti szakasz 1886-2003 közötti mederváltozásait tanulmányozták. Ezen a szakaszon a Dráva váltakozva feltöltő, illetve erodáló jellegű, amely a két hossz-szelvény különbségéből is egyértelműen látszik (10. ábra). A torkolat előtti szakasz nagyjából 80%-a sarkantyúkkal és partvédő művekkel szabályozott, így ahol az eróziós folyamatok dominálnak, a medermélyülés intenzívebb. A külön is vizsgált 4 szelvény (2,87, 8,675, 16,835 és 18,065 fkm) mederváltozásai alapján dinamikusan mélyülő, valamint stabil szakaszon váltakoznak. A torkolathoz közeledve azonban egyre jelentősebben befolyásolja a Duna a Dráva mechanizmusait.



10. ábra: Az Eszék alatti szakasz hossz-szelvényének változása 1886 és 2003 között (Dadić et al. 2015)

### 3.4.5 Egyéb, a Dráva mederalakjának változásával foglalkozó tanulmányok

Az egyes folyószabályozási beavatkozások hatásaira bekövetkező mederváltozásokat többen is tanulmányozták az utóbbi évtizedekben. Ahogy az a 3.1. fejezet kapcsolódó részeiben már bemutatásra került, a kanyarulat-átvágásoknál a megnövekedett esés, a partbiztosításoknál az oldalerózió megakadályozása, a sarkantyúk esetében a mederszűkítés hatására, a vízlépcsők esetében pedig az ún. tisztavíz-erózió miatt bevágódási folyamat indul meg.

Az átvágás hatására bekövetkező meder- illetve parterózió mértékét vizsgálta például Carević et al. (2008) Drávanémetinél, Bognar (2008) Križnica-nál, Bešenić (2017) a Botovo-Vízvár szakaszon, Kulej (2019) a Répás-Décseszentpál szakaszon; Kiss (2011, 2014), Andrási (2015), Kiss és Andrási (2015, 2017) tanulmányaikban az átvágások, illetve sarkantyú hatására bekövetkező szigetfejlődést elemezték a Bélavár-Heresznye szakaszon. Szintén Kiss (2014) vizsgálta a partbiztosítások hatását a medervándorlásra: míg a kanyarulat külső ívén gátolva van a parterózió, addig a belső ívén továbbra is folyamatos az övzátonyok épülése és fejlődése. Matica és Turinski (2013) Őrtilos és Botovo térségében végzett vizsgálataik alapján a felső szakasz vízlépcsőinek a folyó oldalirányú vándorlására való hatásait mutatták ki. Kiss (2014) szerint a vízlépcsők okozta hidrológiai változások és a folyószabályozások együttesen mederszűkülést és a formakincs elszegényedését okozzák.

Az egyes tanulmányok részletesebben a 6.2. fejezetben kerülnek bemutatásra.



4a. táblázat: A Dráva medersüllyedésének mértéke korábbi tanulmányok alapján (áttekintés)

Szelvény/Szakasz	Szelvény/Szakasz (fkm)	Időszak	Medersüllyedés (cm/év)	Megjegyzés	Forrás
teljes Mo.	235.90-70.20	1970-2016	3.00	vízállás vált. és vízhozamgörbe alapján	Burián et al. (2019)
teljes Mo.	235.90-70.20	1985-2014	3.33	n.a	DDVIZIG (2014c)
teljes Mo.	235.90-70.20	1970-2013	2.00-4.00	vízállás-tartósság vizsg. alapján	Inno-Water (2014)
teljes Mo.	235.90-70.20	1974-1985	0.1-0.2	tektonikai süllyedés alapján	Joó (1992)
teljes Mo.	235.90-70.20	n.a.	3.00-4.00	n.a	OVF (2015)
Órtilos	235.90	2000-2018	2.50	KQ vízhozamgörbe alapján	BME (2019)
Órtilos	235.90	1970-2016	3.00-4.00	KV és KÖV vízállás alapján	Burián et al. (2019)
Órtilos	235.90	1970-2016	1.00	NV vízállás vált. alapján	Burián et al. (2019)
Órtilos	235.90	1970-2014	4.62	KV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Órtilos	235.90	1970-2014	3.37	KÖV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Órtilos	235.90	1970-2014	0.79	NV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Órtilos	235.90	1970-2013	3.80	vízállás-tartósság vizsg. alapján	Inno-Water (2014)
Órtilos	235.90	2003-2013	1.70-1.90	vízállás-tartósság vizsg. alapján	Inno-Water (2014)
Órtilos	235.90	1970-2011	4.70	KV vízállás vált. alapján	EJF (2012)
Órtilos	235.90	1970-2011	3.80	KÖV vízállás vált. alapján	EJF (2012)
Órtilos	235.90	2004-2011	2.30-3.00	KQ vízhozamgörbe alapján	EJF (2012)
Órtilos	235.90	1960-2003	3.95	KV vízállás vált. alapján	VITUKI (2003)
Órtilos	235.90	1960-2003	2.79	KÖV vízállás vált. alapján	VITUKI (2003)
Órtilos	235.90	1960-2003	3.37	vízállás vált. alapján átlagosan	VITUKI (2003)
Órtilos	235.90	1980-2000	7.90-8.60	vízállás-tartósság vizsg. alapján	Inno-Water (2014)
Zákány	227.10	1900-1968	2.46	vízállások vizsg. alapján	Majorlaki (1976)
Zákány	227.10	1876-1960	1.41-1.53	KV vízállás vált. alapján	Lovász (1967)
Botovo	227.10	1984-2002	2.00	KQ vízhozamgörbe alapján	VITUKI (2003)
Botovo	227.10	1970-1995	3.00-3.50	n.a	Mohl (2008)
Botovo	227.10	1946-1988	2.00-4.00	vízállások vizsg. alapján	Bonacci et al. (1992)
Botovo	227.10	1946-1988	2.52	KV vízállás vált. alapján	Matica és Turinski (2013)
Novo Virje	198.80	1977-1987	3.00	KQ vízhozamgörbe alapján	VITUKI (2003)
Bélavár-Barcs	198.00-154.10	1972-2006	2.00	kszv. vált. alapján	Kiss (2014)
Bélavár-Barcs	198.00-154.10	1993-2002	0.35	átl. évi hord.száll. különbségéből	VITUKI (2003)
Bélavár-Barcs	198.00-154.10	1993-2002	2.80	kostrásból szám.	VITUKI (2003)
Bélavár-Barcs	198.00-154.10	1993-2002	3.15	kostrásból és a hord. száll. különbségéből	VITUKI (2003)
Barcs	154.10	1972-2018	2.80	KQ vízhozamgörbe alapján	BME (2019)
Barcs	154.10	1974-2016	3.50	kszv. vált. alapján	Burián et al. (2019)
Barcs	154.10	2012-2016	4.74	kszv. vált. alapján	BME (2019)
Barcs	154.10	1972-2014	3.00-3.31	vízhozamgörbe alapján	DDVIZIG (2014b)
Barcs	154.10	1972-2014	3.29	KV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Barcs	154.10	1972-2014	2.91	KÖV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Barcs	154.10	1972-2014	2.13	NV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Barcs	154.10	1970-2013	3.51	KV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Barcs	154.10	1970-2013	3.22	KÖV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Barcs	154.10	1970-2013	2.82	NV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014a)
Barcs	154.10	1970-2013	3.20-3.60	vízállás-tartósság vizsg. alapján	Inno-Water (2014)
Barcs	154.10	2003-2013	3.40-3.90	vízállás-tartósság vizsg. alapján	Inno-Water (2014)
Barcs	154.10	1974-2012	2.77	kszv. vált. alapján	EJF (2012)
Barcs	154.10	1970-2011	4.10	KV vízállás vált. alapján	EJF (2012)
Barcs	154.10	1970-2011	3.40	KÖV vízállás vált. alapján	EJF (2012)
Barcs	154.10	1970-2011	1.80-3.00	KQ vízhozamgörbe alapján	EJF (2012)
Barcs	154.10	1972-2011	2.50	kszv. vált. alapján	DDVIZIG (2014)
Barcs	154.10	1972-2011	3.50-3.75	KV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014)
Barcs	154.10	1960-2003	4.65	KV vízállás vált. alapján	VITUKI (2003)
Barcs	154.10	1960-2003	3.72	KÖV vízállás vált. alapján	VITUKI (2003)
Barcs	154.10	1960-2003	4.19	vízállás vált. alapján átlagosan	VITUKI (2003)
Barcs	154.10	1972-2002	3.00 (2.67-3.33)	vízhozamgörbe alapján átlagosan	VITUKI (2003)
Barcs	154.10	1982-2002	3.00	KQ vízhozamgörbe alapján	VITUKI (2003)
Barcs	154.10	1982-2002	2.00	KÖQ vízhozamgörbe alapján	VITUKI (2003)
Barcs	154.10	1972-1982	4.00	vízhozamgörbe alapján	VITUKI (2003)
Barcs	154.10	1900-1968	1.83	vízállások vizsg. alapján	Majorlaki (1976)
Barcs	154.10	1876-1960	2.35	KV vízállás vált. alapján	Lovász (1967)
Barcs	153.80	1970-2016	2.00-3.00	KV és KÖV vízállás alapján	Burián et al. (2019)
Barcs	153.80	1970-2016	2.00	NV vízállás vált. alapján	Burián et al. (2019)
Barcs	153.80	1970-2016	2.00-2.50	KQ és KÖQ vízhozamgörbe alapján	Burián et al. (2019)
Barcs	153.80	1970-2016	1.00	NQ vízhozamgörbe alapján	Burián et al. (2019)

4b. táblázat: A Dráva medersüllyedésének mértéke korábbi tanulmányok alapján (áttekintés)

Szelvény/Szakasz	Szelvény/Szakasz (fkm)	Időszak	Medersüllyedés (cm/év)	Megjegyzés	Forrás
Barcs térsége	153.20-152.70	1998-2001	1.75	kszv. vált. alapján	VITUKI (2003)
Barcs térsége	153.20-152.70	1998-2000	3.37	kszv. vált. alapján	VITUKI (2003)
Terezino Polje	152.30	1977-2014	3.00-4.00	kszv. vált. alapján	Bonacci és Oskoruš (2019)
Terezino Polje	152.30	1977-2014	2.37	vízhozamgörbe alapján	Bonacci és Oskoruš (2019)
Terezino Polje	152.30	1875-2006	2.72	KV vízállás vált. alapján	Bonacci és Oskoruš (2010)
Terezino Polje	152.30	1875-2006	2.57	KÖV vízállás vált. alapján	Bonacci és Oskoruš (2010)
Terezino Polje	152.30	1875-2006	1.95	NV vízállás vált. alapján	Bonacci és Oskoruš (2010)
Terezino Polje	152.30	1876-1996	2.50	n.a	Mohl (2008)
Barcs-Drávaszabolcs	154.10-77.70	1993-2002	0.58	átl. évi hord.száll. különbségéből	VITUKI (2003)
Barcs-Drávaszabolcs	154.10-77.70	1993-2002	0.50	kotrásból (homok)	VITUKI (2003)
Barcs-Drávaszabolcs	154.10-77.70	1993-2002	1.08	kotrásból és a hord. száll. különbségéből	VITUKI (2003)
Szentborbás	133.10	1970-2016	1.50	KV és KÖV vízállás alapján	Burián et al. (2019)
Szentborbás	133.10	1970-2016	1.50	NV vízállás vált. alapján	Burián et al. (2019)
Szentborbás	133.10	1970-2013	1.76	KV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014b)
Szentborbás	133.10	1970-2013	1.87	KÖV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014b)
Szentborbás	133.10	1970-2013	1.90	NV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014b)
Donji Miholjac	80.60	1900-1968	0.26	vízállások vizsg. alapján	Majorlaci (1976)
Drávaszabolcs	77.70	1971-2018	1.50	KQ vízhozamgörbe alapján	BME (2019)
Drávaszabolcs	77.70	1972-2014	0.91-1.14	vízhozamgörbe alapján	DDVIZIG (2014b)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2013	1.06	NV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014b)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2013	1.34	KV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014b)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2013	0.94	KÖV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014b)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2016	1.00	KV és KÖV vízállás alapján	Burián et al. (2019)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2016	< 1.00	NV vízállás vált. alapján	Burián et al. (2019)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2016	1.00	KQ és KÖQ vízhozamgörbe alapján	Burián et al. (2019)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2016	< 0.50	NQ vízhozamgörbe alapján	Burián et al. (2019)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2011	3.00	KV vízállás vált. alapján	EJF (2012)
Drávaszabolcs	77.70	1970-2011	2.40	KÖV vízállás vált. alapján	EJF (2012)
Drávaszabolcs	77.70	1971-2009	1.03-1.28	KV vízállás vált. alapján	DDVIZIG (2014b)
Drávaszabolcs	77.70	2000-2009	1.00	KQ vízhozamgörbe alapján	EJF (2012)
Drávaszabolcs	77.70	1960-2003	3.02	KV vízállás vált. alapján	VITUKI (2003)
Drávaszabolcs	77.70	1960-2003	2.56	KÖV vízállás vált. alapján	VITUKI (2003)
Drávaszabolcs	77.70	1960-2003	2.79	vízállás vált. alapján átlagosan	VITUKI (2003)
Drávaszabolcs	77.70	1980-2000	1.50-3.00	vízhozamgörbe alapján	VITUKI (2003)
Drávaszabolcs	77.70	1971-1979	5.00-8.00	vízhozamgörbe alapján	VITUKI (2003)
Eszék	19.80	1876-1960	1.41	KV vízállás vált. alapján	Lovász (1967)
Eszék alatt	22.00-0.00	1886-2003	0.95-1.14	meder hossz-szv. vált. alapján	Dadić et al. (2015)
Eszék alatt	22.00-0.00	1886-2003	0.86-2.19	kszv. vált. alapján	Dadić et al. (2015)
Eszék alatt	19.80-0.00	1900-1968	1.24	vízállások vizsg. alapján	Majorlaci (1976)

A 4. táblázatban alkalmazott színek és rövidítések jelentése:

vízállás változásai alapján
vízhozam változásai alapján
kereszt-szelvény változásai alapján
hossz-szelvény változásai alapján
kotrás térfigat alapján becsülve
az átlagos évi hordalékszállítás különbségéből számítva
tektonikai süllyedés alapján
KV, KÖV, NV: kis-, közép-, nagyvízszint
KQ, KÖQ, NQ: kis-, közép-, nagyvízhozam
kszv.: kereszt-szelvény
n.a.: nincs adat

## 4 Mederdomborzati térképek

A szakértői feladat keretében előállítottuk a Dráva mederdomborzati modelljét a Megbízó által szolgáltatott geometriai adatok alapján. Az adatszolgáltatás három felmérés adatait tartalmazta. Elsőként az 1971-es Dráva Atlaszt, amely PDF formátumban tartalmazta a helyszínrajzokat, illetve felmérési keresztaszvénnyeket. A második a 2006-os Dráva atlasz volt, melyben már digitális formátumban szerepeltek az adatok, míg a harmadik egy 2018-ban végzett felmérés, mely kész terepmodellt tartalmazott.

### 4.1 1971-es Dráva atlasz

Az állomány a Mura drávai torkolatától (153 VO szelvény) egészen a Dunai torkolatig tart (0 VO szelvény). Helyszínrajzi megjelenítése 79 db 1:10000 léptékű 30x40 cm-es lapon történt, melyek jugoszláv Gauss-Krüger vetületi rendszerben vannak. Minden lapon szerepel a koordinátarendszer hálója. A feldolgozás első lépése a térképszelvények koordinátahelyes egybeillesztése volt, amit georeferálással végeztünk el. Ez alapján rendelkezésre állt a folyó komplett helyszínrajza, de nem a megfelelő vetületi rendszerben. Koordinátatranszformációval igyekeztünk EOVS rendszerbe illeszteni a szelvénnyeket, ám itt eltéréseket tapasztaltunk, így kellő mennyiségű referenciapontot keresve, ismét a georeferálást választottuk. Az országhatár szerepel a térképeken, így ellenőrzésképp össze lehetett vetni a meglévő EOVS rendszerben lévő országhatár polyline-nal. Ezt követően a keresztaszvénnyek kezdő és végponti koordinátái leolvashatók voltak, illetve digitalizálhatóvá vált a folyó középvonala és partvonalai. A keresztaszvénnyek digitalizálását egy erre alkalmas szoftverrel hajtottuk végre, aminek eredményeként a szelvénnyek számának megfelelő számú (~750 db) már Excel-be illeszthető dokumentumot kaptunk, melyek tartalmazták a keresztaszvénnyek töréspontjainak vízszintes egymástól való távolságát, illetve a Adria feletti magasságértékeket. Előállítottunk egy Excel táblázatot, mely a helyszínrajzokról kinyert kezdő és végkoordináták segítségével trigonometriai azonosságokat felhasználva koordinátákat generált az imént említett töréspontokhoz. Végül az adriai magasságokat átszámítottuk Balti feletti magasságra, így előállt a mintegy 50000 pontból álló halmaz, mely a Dráva folyó ~150 km-es szakaszának 1971-es felmérési keresztaszvénnyeit képezi le.

### 4.2 2006-os Dráva atlasz

A Megbízótól kapott térinformatikai adatbázisból előállítottunk egy 2x2 m-es raster adatbázist. Az adatok ebben az állományban a Dráva Magyarország határát érintő szakaszára terjedtek ki.

### 4.3 2018-as felmérés

Az alapadatként rendelkezésre álló digitális terepmodell felbontása finomabb volt, mint a másik két felmérésnél előállítható 2x2 m, így itt a feladat a homogenizálás volt, hogy a további felhasználás során összevethetőek legyenek az eredmények. A felmérés az 1971-es atlaszsal megegyező szakaszra terjedt ki.

## 5 Kotrési adatok elemzése

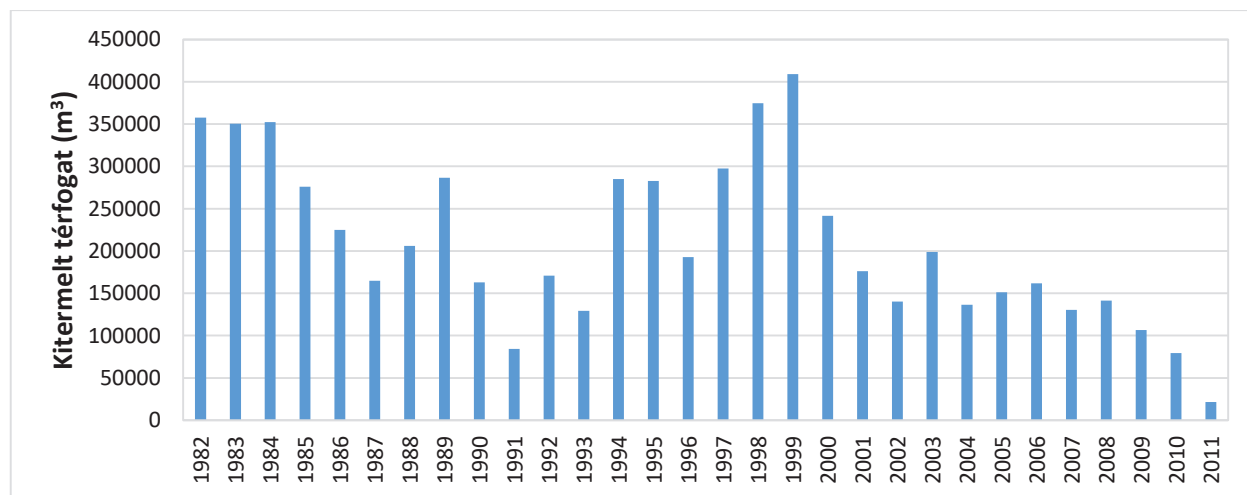
A Dráva medersüllyedésének egyik legfontosabb kiváltó oka az intenzív mederkotrás (VITUKI 2003, EJF 2012, Burián et al. 2019). 1982-2011 között mintegy 6,29 millió m<sup>3</sup> mederanyagot (kavics és homok) termelt ki együtt Horvátország és Magyarország. A természetvédelmi érdekek előtérbe kerülésével 2011-ben elrendelték az ipari célú kotrások betiltását, azóta engedélyköteles tevékenység és csak folyószabályozási és fenntartási céllal végezhető (DDVIZIG 2014a-b). A kotrások leállításával megszűnt a medersüllyedések egyik fő okozója (EJF 2012).

Mivel a kitermelt mederanyag a görgetett hordalékszállításból természetes úton bizonyos mértékben utánpótlódik, természetesen igen nehéz megbecsülni a kotrásból adódó valódi medersüllyedést. Jelen tanulmányban a kotrési térfogatok mederszintre való hatásának becslése – a VITUKI (2003) példáját követve - az egyes Dráva-szakaszokon a kitermelt térfogatok egységes eloszlását feltételezve történt.

### 5.1 A kotrési térfogatok időbeli alakulásának vizsgálata

A Dráva medréről kitermelt kavics és homok mennyiségéről az 1982-2011 közötti időszakból vannak adatok, a VITUKI 2003-ban, majd az EJF 2012-ben gyűjtötte össze az évente kitermelt mennyiségeket. Az 1982-2011 között kitermelt térfogatokat az 5. táblázat (ld. fejezet végén) foglalja össze, amely információval szolgál arról is, hogy melyik ország a Dráva mely szakaszán mekkora térfogatot termelt ki.

A kotrési térfogatok időbeli alakulása az alábbi ábrán (11. ábra) látható. A vizsgált 30 év alatt összesen 6,29 millió m<sup>3</sup> (átlagosan kb. 210 000 m<sup>3</sup>/év) kavicsot és homokot termelt ki Horvátország és Magyarország, főként építkezési célra. A kitermelt térfogat 1999-ben érte el maximumát, amikor is 400 000 m<sup>3</sup>-nél is több mederanyagot termelt ki a két ország összesen.

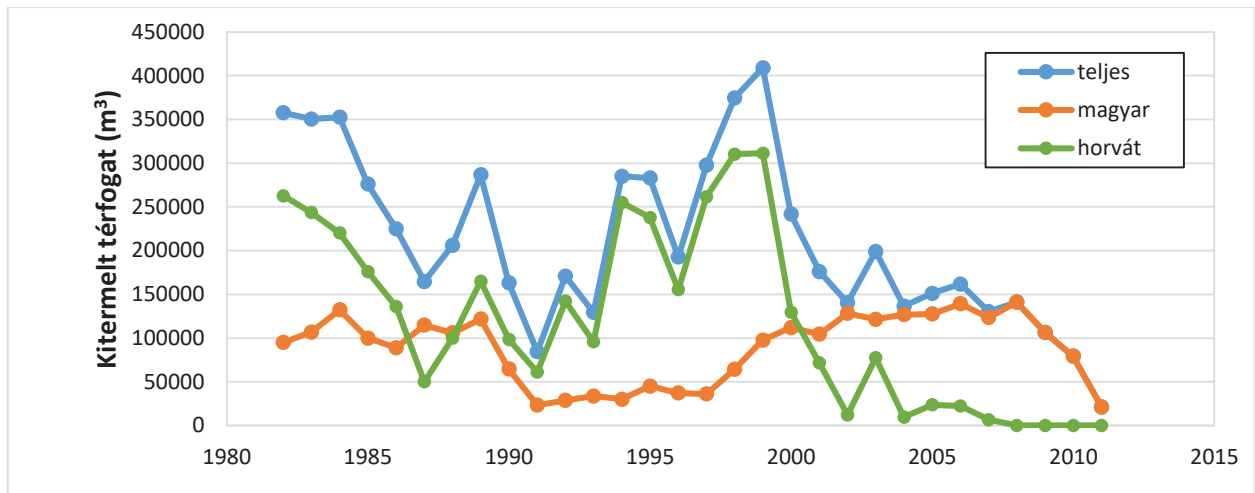


11. ábra: A Dráva medréről kitermelt homok és kavics térfogatának alakulása 1982-2011 között

A két ország által kitermelt mennyiség 2007-ig (2007-ben a horvát oldalról megszűnt a kotrás) évente jellemzően 130-410 000 m<sup>3</sup> között mozgott (átlagosan kb. 230 000 m<sup>3</sup>/év). 2011 után a magyar oldalon is megszűnt az ipari célú mederanyag-kitermelés. Jelenleg a Dráván már csak kizárólag folyószabályozási, illetve fenntartási céllal, engedély birtokában végezhető kotrás.

A kitermelt térfogatok nemzeti megoszlását a 12. ábra mutatja. Jól látható, hogy a 2000-es évig horvátok által végzett kotrás dominált. A 2000-es évben azonban a horvátok által kitermelt térfogat

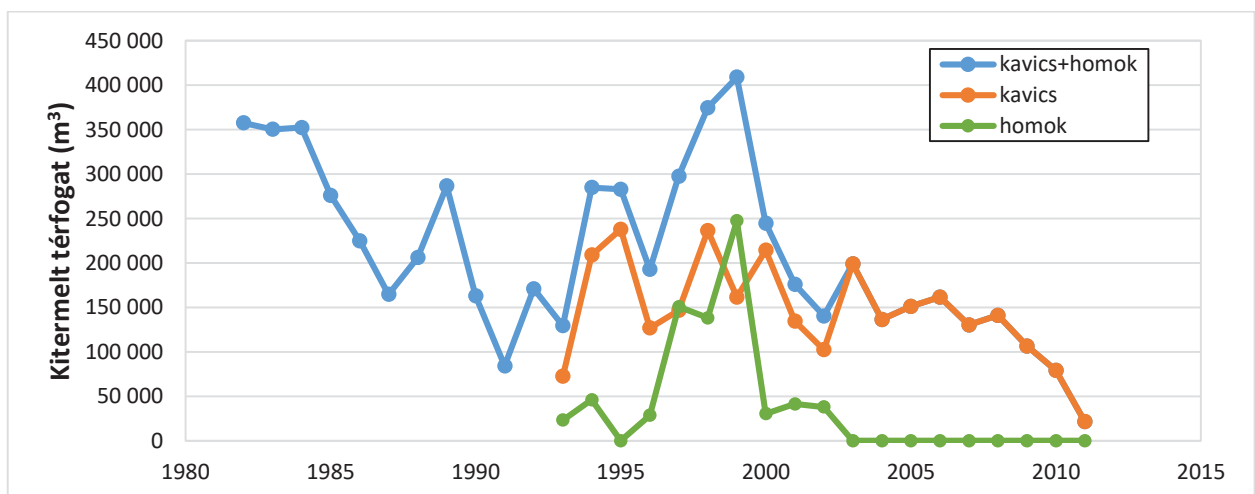
nagymértékben csökkent (az addigi 50-300 000 (átlagosan 180 000) m<sup>3</sup>/év helyett már csak 7-78 000 (átlagosan 32 000) m<sup>3</sup> mederanyagot termeltek ki), 2004-2011 között pedig már csak minimális, 10-25 000 m<sup>3</sup>/év mennyiséget kotortak. A horvátok által az 1982-2011 közötti időszakban kitermelt mederanyag mennyisége 3,63 millió m<sup>3</sup> (átlagosan kb. 140 000 m<sup>3</sup>/év).



12. ábra: A Dráva medréből 1982-2011 között kitermelt térfogat nemzeti megoszlása

A magyar oldalról 1982-2011 között mindvégig folyt a kitermelés, de az utolsó három évben (2009-2011) szintén fokozatosan a minimálisra csökkent a kitermelt mennyiség. A magyarok a 30 év alatt összesen 2,66 millió m<sup>3</sup> kavicsot és homokot termeltek ki a Dráva medréből, évente jellemzően 20-140 000 m<sup>3</sup> térfogatban (átlagosan kb. 89 000 m<sup>3</sup>/év).

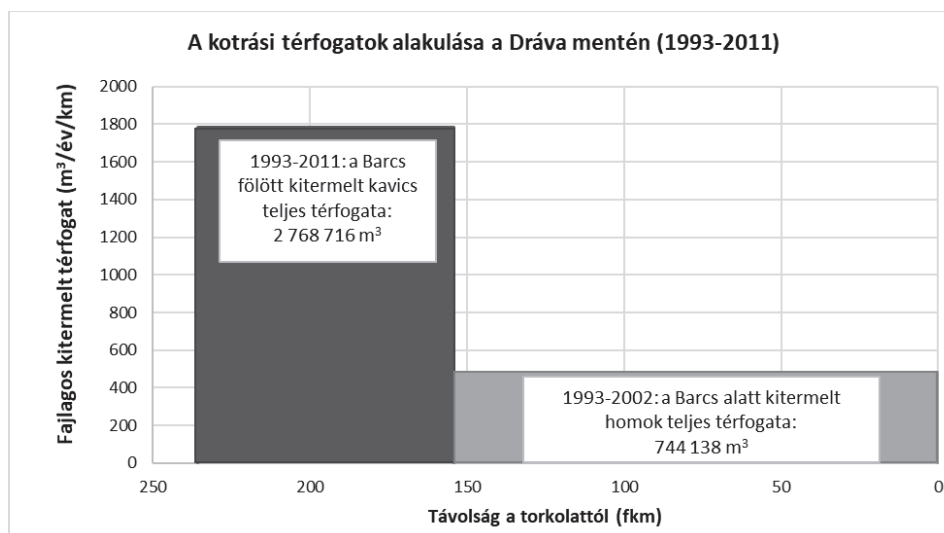
A VITUKI (2003) és az EJF (2012) munkája alapján 1993-2011 között a kotrási helyszínek alapján a kitermelt kavics, illetve homok megoszlása is becsülhető. A 13. ábra narancssárgával a kavics-, zölddel a homokkitermelés, kékkel pedig a teljes kitermelt térfogat időbeli alakulását mutatja. Az 1993-2002 között kitermelt 2,39 millió m<sup>3</sup> mederanyag 69%-a kavics volt (1,64 millió m<sup>3</sup>). A rendelkezésre álló adatok alapján 2002 után megszűnt a homok kitermelése a Dráván.



13. ábra: A Dráva medréből kitermelt homok és kavics arányának alakulása 1993 és 2011 között (az 1982 és 1993 közötti időszakra vonatkozóan csak a teljes térfogat ismert)

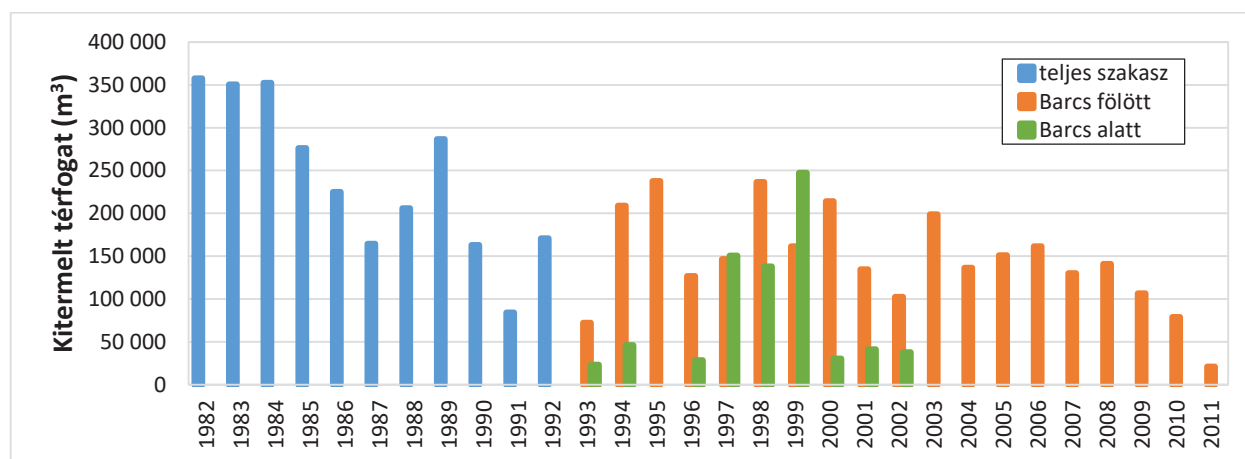
## 5.2 A kotrások területi eloszlásának értékelése

A rendelkezésre álló kotrási adatok alapján 1997-2011 között a magyarok Bélavár és Barcs (198,00-157,10 fkm) között kavicsot, 1997-2002 között Barcs térségében (157,10-152,70 fkm) homokos kavicsot, a horvátok pedig 2003-2007 között Botovo térségében (230,00-225,00 fkm), 1993-2002 között Bélavár és Barcs között kavicsot, a Barcs és Drávaszabolcs (152,70-77,70 fkm) közötti szakaszon pedig homokot termeltek ki. A kotrások területi eloszlásának értékeléséhez a továbbiakban Barcs fölötti, illetve Barcs alatti szakasz van megkülönböztetve.



14. ábra: A kotrási térfogatok alakulása a Dráva mentén 1993 és 2011 között (a Barcs alatti szakaszon 2002 után megszűnt a homokkotrás)

A Barcs fölötti szakaszon 1993-2011 között összesen 2,77 millió m<sup>3</sup> kavicsot termelt ki együtt a két ország, míg a Barcs-Drávaszabolcs szakaszon összesen 0,74 millió m<sup>3</sup> homokot (amelyből kb. 180 000 m<sup>3</sup> durva homok-kavicsos homok Barcs térségéből, 560 000 m<sup>3</sup> pedig közepes és finom homok) (14. ábra).



15. ábra: A kotrási térfogatok éves alakulása a Barcs fölötti ill. alatti szakaszon 1993 és 2011 között (az 1982 és 1993 közötti időszakra vonatkozóan csak a teljes térfogat ismert)

A fenti ábrán (15. ábra) a kotrások területi eloszlásának időbeli alakulása látható. Az 1993-2011 közötti időszakban a Bélavár-Barcs közötti szakaszon egészen a kotrások leállításáig aktívan zajlott a kavicskitermelés, évente átlagosan kb. 140 000 m<sup>3</sup> kavicsot termeltek ki. A Barcs-Drávaszabolcs



szakaszon a horvátok 1993-2002 között átlagosan kb. 56 000 m<sup>3</sup> homokot termeltek ki. A barcsi homok, kavicsos homok kitermelése is 2002-ben fejeződött be, 1993 óta kb. 30 000 m<sup>3</sup> mederanyagot termeltek ki. A horvátok 2003-2007 között még Botovo térségében is kitermeltek évente 28 000 m<sup>3</sup> kavicsot (16. ábra).



16. ábra: Kavicskitermelés Botovo térségében (fényképezte: Arno Mohl; a fénykép forrása: Mohl 2008)

Fontos megjegyezni, hogy 1982-1992 között nem állt rendelkezésre információ a kotrási helyszíneket illetően, s az 1993-2011-es adatok alapján is inkább csak közelítőleg értékelhető a kotrások területi eloszlása. Az országhatáron (70,20 fkm) túlról pedig nincsenek konkrét kotrási adatok. A VITUKI (2003) tanulmánya alapján feltételezhető, hogy Botovo térségében már 2003 előtt is számottevő kotrási tevékenység folyt. Habersack és Végh (2009) felsorolása alapján 2004-ben Eszék alatt folyószabályozási és fenntartási (hajózási útvonal és kikötő) céllal 150 000 m<sup>3</sup> homokot termeltek ki, 2007-ben az alsó, 54 km hosszú szakaszon a torkolatig, 2008-ban pedig Petrijevcinél (31-30 fkm) is végeztek kotrást. Emellett több tanulmány is utal rá, hogy a horvát oldalról jelentős illegális kotrási tevékenység zajlott (sőt zajlik még ma is), az Eszék szomszédságában található Petrijevci településnél például 3 millió m<sup>3</sup> homokot termeltek ki illegálisan (17. ábra) (Popovič és Mikuska 2010). Csak az ismert 3,15 millió m<sup>3</sup> homok kitermelése kb. 46 cm medermélyülést jelent a legalsó 30 km-es szakaszon.



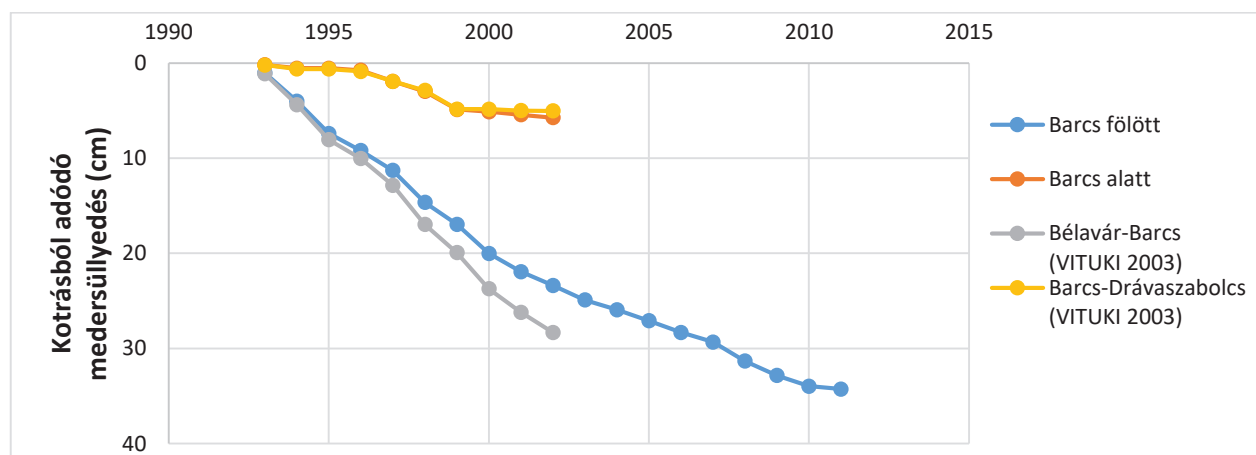
17. ábra: Illegális kotrási tevékenység Petrijevi településnél (fényképezte: Darko Grlica; a fénykép forrása: Mohl 2008)

### 5.3 A kotrási térfogatok mederszintekre való hatásának becslése

Az 1982-2011 között végzett homok- és kavicsstermelésből adódó mederváltozások becslése a kitermelt térfogatok egységes eloszlásának feltételezésével történt. Az előzőleg ismertetett kotrási helyszínek által meghatározott szakaszokon a törvényben előírt (ld. 6.1.1. fejezet) mederszélességek: a Barcs fölötti szakaszon 160 m, Barcs és Drávaszabolcs között 170 m, Drávaszabolcstól Eszékig 180 m, Eszék alatt pedig 220 m.

A VITUKI (2003) az 1993-2002 közötti 10 éves időszakra a kotrási tevékenységből adódó medersüllyedés mértékét a Bélavár-Barcs (198,00-154,10 fkm) közötti szakaszon 2,83 cm/év, a Barcs-Drávaszabolcs (154,10-77,70 fkm) közötti szakaszon 0,50 cm/év nagyságúra becsülte.

A pusztán a kotrásból adódó, becsült medersüllyedés időbeli alakulása a lenti ábrán (18. ábra) látható. A VITUKI (2003) tanulmányhoz hasonlóan itt is a Barcs fölötti, illetve alatti szakaszra történt a vizsgálat. A megkülönböztetés oka az, hogy a felső szakaszon kavics, homokos kavics kitermelése történik, míg az alsó szakasz mederanyagát már közepes és finom homok alkotja. Jelen tanulmányhoz az 1993-2011 közötti időszakra állt rendelkezésre kotrási adat (kotrási helyszín és kitermelt térfogat). A homokkitermelés ugyan 2003-ra már megszűnt, a Barcs fölötti szakaszon azonban 2003-2007 között egy új helyszínen, Botovo térségében is zajlott kavicskitermelés.





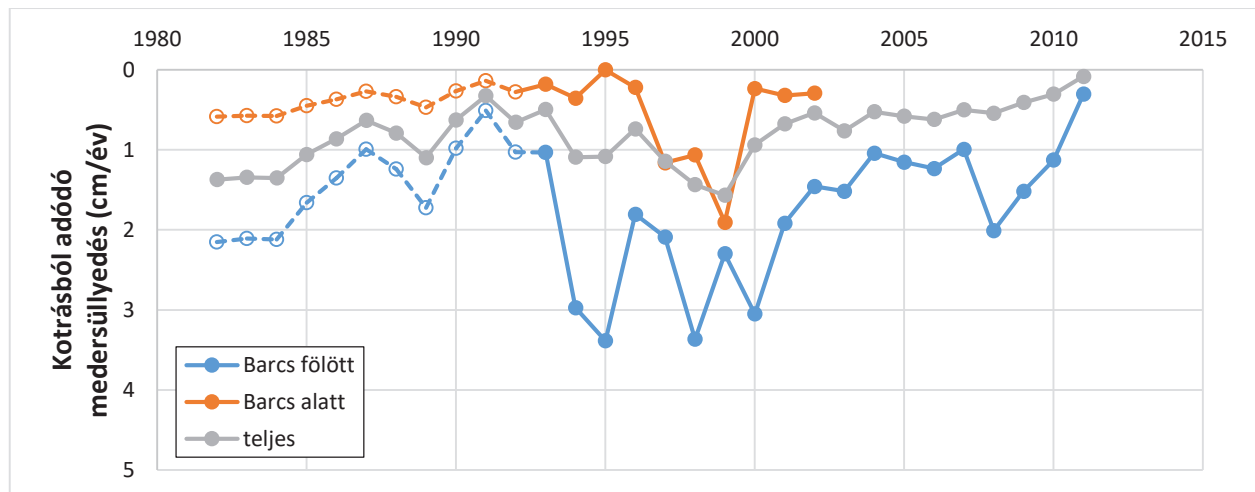
18. ábra: A kotrásból adódó medersüllyedés mértéke a Barcs fölötti ill. alatti szakaszon 1993-2011 között

A Barcs fölötti szakaszon 1993-2002 között tapasztalható eltérés annak eredménye, hogy jelen tanulmányban a Barcs térségében történő kitermelést a mederanyag alapján az alsó, homok mederanyagú szakaszhoz lett besorolva. (Megjegyzés: Botovonál 10-50 mm, Bélavárnál 10-20 mm szemátmérőjű kavics, Barcsnál 0,50-3,00 mm nagyságú durva homok és finom kavics, a Barcs alatti szakaszon pedig 0,50 mm-nél kisebb átmérőjű, közepes és finom homok alkotja a medret (EJF 2012, BME 2019).)

Barcs átsorolásával a Barcs fölötti szakaszon a medersüllyedés becsült értéke 2,34 cm/év, amely VITUKI (2003) értékeihez képest 1993-2002 között összesen 0,49 cm-rel jelent kisebb süllyedést. A 2003-2011 közötti időszakban csökkent a kavicskitermelés intenzitása, a becsült medersüllyedés már csak 1,21 cm/év. Az 1993-2011 közötti időszakra vonatkozó kotrási adatok alapján becsült medersüllyedésre a Barcs fölötti szakaszon 1,80 cm/év, vagyis összesen 34 cm adódott.

Barcs átsorolásával a Barcs alatti szakaszon a medersüllyedés becsült értéke 0,57 cm/év, amely VITUKI (2003) értékeihez képest 1993-2002 között összesen 0,71 cm-rel jelent nagyobb süllyedést. A homokkitermelésből becsült medersüllyedés értéke tehát összesen 5,73 cm.

Noha az 1982-1992-es kotrási adatok nem szolgálnak információval a kotrás helyszínéről, a teljes kitermelt mennyiség alapján durván becsülhető, hogy 1993-ra mennyit süllyedt már előzetesen a mederszint. A 19. ábra szürkével jelölt vonala az 1982-2011 között kitermelt mederanyag összterfogata alapján becsült medersüllyedést jelöli.



19. ábra: A kotrási térfogatokból becsült medersüllyedés éves értékének alakulása 1982 és 2011 között (az 1982 és 1993 között szaggatott vonallal és átlátszó jelöléssel megkülönböztetett értékek becslése az ismert teljes térfogatból az 1993-2011 között kitermelt homok és kavics aránya alapján történt)

A kotrási térfogatok alapján elvégzett becslések alapján 1982-2011 között a Dráva vizsgált szakaszán összesen 24 cm medersüllyedés (0,80 cm/év) következett be. A Barcs fölötti szakaszon a 30 éves átlagos süllyedés 1,67 cm/év (összesen kb. 50 cm), míg a Barcs alatti szakaszon 0,48 cm/év (kb. 10 cm).

A pusztán a mederkotrásból becsült medersüllyedés kiegészíthető a görgetett hordalékszállítás egyes szelvények közötti különbsége alapján becsült mederváltozással. Botovo és Bélavár között a 2003-2007 között kitermelt térfogatról vannak adatok. A mintegy 140 000 m<sup>3</sup> kavics kitermelése önmagában 0,60

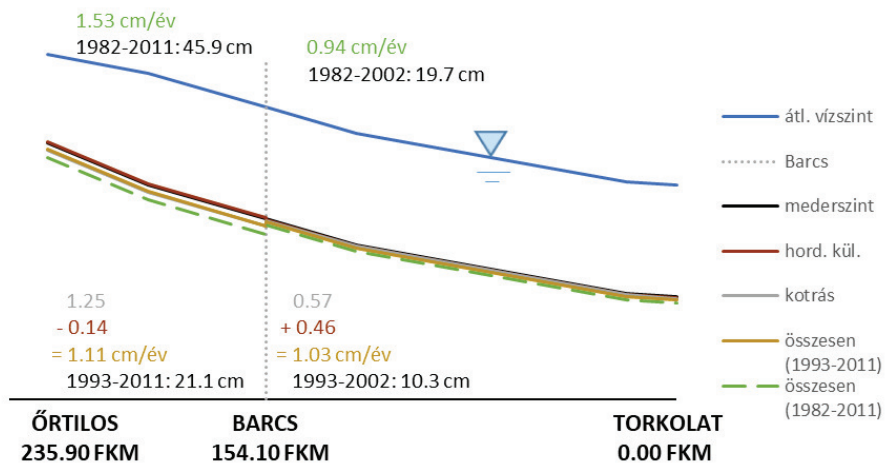
cm/év medersüllyedést okozott. A vizsgált időszakban a bélavári szelvénybe összesen 190 000 m<sup>3</sup>-rel kevesebb görgetett hordalék érkezett, mint amennyi felülről a botovoi szelvénybe belépett. Ez a hordalékvesztés nagyjából 4 cm feltöltődést (0,81 cm/év) okozhatott a szakaszon. Feltételezve, hogy a hiányzó görgetett hordalék a kotrás okozta mélyülésekben csapdázódott, a kotrás és a kiüledés együttes hatására 0,21 cm/év feltöltődésére lehet következtetni.

A Bélavár-Barcs közötti szakaszon a kb. 2,63 millió m<sup>3</sup> kotrási térfogatból 1,97 cm/év medersüllyedés adódott az 1993-2011 közötti időszakban. A bélavári és barcsi szelvényekben mért görgetett hordalékhozam különbsége ugyanebben az időszakban kb. 410 000 m<sup>3</sup> (vagyis évente kb. 21 500 m<sup>3</sup>-rel több hordalék gördült át a barcsi szelvényben, mint a bélaváriban), amely alapján a becsült medersüllyedés 0,31 cm/év. A szakaszon a kotrás hatására megnövekedett a hordalékszállító képesség, s az erősebb erózió által nagyobb mennyiségű hordalék kerülhetett a görgetett hordalékszállításba. Érdemes megjegyezni, hogy a vízvári szelvényben (187,59 fkm, Bélavár alatt kb. 10 km-rel) bekövetkező jelentős eséstörés miatt a fentről érkező hordalék egy jó része lerakódik, gyorsabban feltöltve ezáltal a kitermelt térfogat helyén a medret. Mivel ezen a szakaszon a megnövekedett görgetett hordalékszállítás, a becsült mederváltozások értéke összeadódik, vagyis 1993-2011 között összesen 2,28 cm/év medersüllyedés következhetett be Bélavár és Barcs között.

A teljes Barcs fölötti szakaszon a kotrásból becsült 1,25 cm/év medersüllyedés és a hordalékszállítás különbségéből számított 0,14 cm/év feltöltődésből összesen 1,11 cm/év-re tehető a medersüllyedés.

A Barcs-Drávaszabolcs közötti szakaszon 1993-2002 között összesen kb. 750 000 m<sup>3</sup> homokot termeltek ki, amelyből 0,57 cm/év medersüllyedés adódott. A barcsi és drávaszabolcsi szelvényekben mért görgetett hordalékhozam különbsége ugyanebben az időszakban kb. 600 000 m<sup>3</sup> (vagyis évente kb. 60 000 m<sup>3</sup>-rel több hordalék gördült át a drávaszabolcsi szelvényben, mint a barcsiban), amely alapján a becsült medersüllyedés 0,46 cm/év. A görgetett hordalékhozam különbségének szintén a megnövekedett hordalékszállító képesség lehet a magyarázata. Az együttes medersüllyedés értéke 1,03 cm/év-re adódott.

A kitermelt kavics és homok 1982 és 1993 közötti, becsült térfogata alapján a Barcs fölötti szakaszon a kotrásból számítva 1,67 cm/év, a hordalékszállítás különbségével együtt pedig 1,53 cm/év volt a medersüllyedés az 1982-2011 időszakban. Az alsó szakaszon a kotrásból 0,48 cm/év, összesen pedig 0,94 cm/év intenzitású medersüllyedés becsülhető. A fejezetben vizsgált mederváltozások értéke áttekinthető a következő ábrán (20. ábra).



20. ábra: A kotrásból, illetve a görgetett hordalékszállítás különbségéből becsült medersüllyedés sematizált ábrája



## 6 Folyószabályozási beavatkozások hatásának vizsgálata

### 6.1 A Dráván és legfontosabb mellékfolyóin végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése

#### 6.1.1 A Dráva vizsgált szakaszán végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése

A Dráva folyószabályozási beavatkozásainak áttekintése Remenyik (2004, 2006) igen részletes munkája, valamint György és Burián (2005) kivonata alapján történt.

A folyószabályozási beavatkozások előtt a Dráva medre ágakra szakadozott, meanderek és gázlók sorozatából fűződött fel. A meanderező folyó folyamatosan építette illetve pusztította partjait, melynek következtében a kanyarulatok túlfejlődtek, vagy éppen lefűződtek – változatossá téve ezzel a tájat. A Dráva-völgy népszerűségének növekedése azonban szükségessé tette a Dráva szabályozását.

A Dráván végzett folyószabályozási munkálatokról a legrégebbi adatok a 18. századból származnak. Az első tervek csak a túlfejllett kanyarulatok átvágását irányozták elő. Az első beavatkozások során a Mura torkolata alatt 1784-1848 között mederátmeteszések (62 db) hatására közel 40%-kal rövidült a folyó. Az átmetszések hatására megindult a meder mélyülése is. A legelső átmetszések Drávagárdony és Felsőszentmárton között történtek, majd a 19. században Drávasztára és Szaporca között is jelentős átmetszéseket végeztek.

A tapasztalatok alapján azonban nem bizonyult elegendőnek a kanyarulatok átmetszése, így a századfordulóig – a német szabályozási elveket követve – a vizet mindkét oldalán párhuzamos vezetóművek közé fogták a kanyarulatokban. Az 1882-es általános bejárás során megállapították, hogy a 19. sz. első feléig megépített sarkantyúk és mederelzárásoknak már nyoma veszett, s maga a torkolat szinte hajózhatatlan. 1884-ben megkezdődött a torkolat új kialakítása: az Eszék alatti kettős kanyarulat átvágásával, egy mellékág lezárásával és egy 860 m hosszú partvédőmű kiépítésével vált újra hajózhatóvá a torkolat. A 19. sz. végén végleges jellegű kő- és rőzseművekkel szabályozták az Eszék alatti szakaszt.

Az 1904-ben készült szabályozási tervek alapján az I. világháború kitöréséig megtörtént a Barcs környéki, Tótújfalu-Kisszentmárton közötti szakasz teljes szabályozása, valamint részben az országhatár alatti szakasz szabályozása is. A 20. sz. elején törvényben (1908. évi XLIX. tv.) írták elő a partok közötti távolságot, melynek értelmében Zákány és Barcs között 160 m, Barcs és Drávaszabolcs között 170 m, Drávaszabolcs és Eszék között 180 m, Eszék és a torkolat között pedig 220 m a középvízi meder szélessége. A korábbi vezetóművek helyett a torkolattól Varasdig tartó szakaszon már csak a homorú oldalon alkalmaztak párhuzamműveket ott, ahol azt a medervisnyók és a helyes vonalvezetés azt feltétlenül megkívánta. A domború oldalon keresztművek (ahol a meder szűkítése is indokolt), illetve T-művek (kevésbé támadott helyeken) építését irányozták elő. Az I. világháború alatt azonban megszakadtak a folyószabályozási munkálatok, s a két világháború között a folyószabályozási munkálatok csak a meglévő szabályozási művek fenntartására korlátozódtak. Ez az állapot 1958-ig nem is változott.

1957-től újból nagyobb hangsúlyt kapott a Dráva szabályozásának kérdése, 1958-ban fel is mérték a medrét a 65-75 fkm közötti szakaszon. A szabályozási munkálatokat 1960-1962 között a 65-70 fkm, 1963-1965 között pedig a 70-75 fkm közötti szakaszon végezték. A Dráva torkolattól Órtilosig tartó szakaszának felmérése is megtörtént 1966-1968 között. 1968-tól kezdve – az országhatár helyzetétől függetlenül – a bal

parton a magyar fél, a jobb parton a jugoszláv (ma már horvát) fél végezte a szabályozási beavatkozásokat. 1974-ben adták ki a Dráva folyó Általános Szabályozási Tervét, amely hazánkban az első olyan terv, amely nem merev, hanem iránymutató koncepciókat és korlátokat alkalmaz a szabályozási munkákat illetően. Ezáltal lehetővé vált, hogy előre nem látott, ám később szükségesnek bizonyuló beavatkozásokat is végrehajthassanak - például azért, mert az intenzív mederátrendeződés veszélyeztette a töltéseket, nem voltak kedvezőek a nagyvízi és jéglevonulási feltételek, vagy éppen azért, mert kedvezőtlennek bizonyultak a gázlós szakaszok a hajózás szempontjából.

Az Általános Szabályozási Terv célja az egységes középvízi meder kialakítása volt, mely kedvező feltételeket biztosít a víz-, jég- és hordalékkelevetéshez, valamint az előírásoknak megfelelő, II. kategóriájú hajóutat is biztosítja. A szabályozások során az eróziós folyamatok csökkentése és a meder állandósítása érdekében rőzsepokróc alapra épített kőművekkel szorították a szabályozott partok közé a folyót, illetve part- és mederbiztosításokat is végeztek. Folyószabályozási céllal mindkét oldalon mederkotrást is végeztek.

A számottevő hajóforgalom, valamint a jég és a nagyvizek levonulása érdekében az országhatár és Barcs közötti szakasz szabályozása kiemelt jelentőségű volt. A folyószabályozási beavatkozásoknak köszönhetően a Dráva Barcs alatti szakasza gyakorlatilag teljesen szabályozott. A 140-150 fkm szakaszon az eredetileg rendezetlen, több ágra szakadó, gázlós medret 1980-1988 között alakították ki a hajózási útvonalnak megfelelően. A 118-130 fkm közötti szakaszon az 1970-es években főleg keresztgátak és partbiztosítási művek épültek. A 107-118 fkm közötti szakaszon található túlfejlett kanyarulatok közül a zalátai (109 fkm) kanyarulat átmetszésére 1991-ben került sor, míg a drávasztári (115 fkm) kanyarulat átmetszése a mai napig sem történt meg. A 107 fkm-től lefelé keresztgátak, T művek és partbiztosítások épültek szabályozási céllal, a munkálatok 1985-ben fejeződtek be. Az országhatár és Barcs közötti szakaszon (70,20-154,10 fkm) a partvédelemmel ellátott szakaszok aránya 38%.

A Barcs fölötti szakasz szabályozottságát tekintve lényegesen elmarad a Barcs alatti szakaszhoz képest. A 160-198,60 fkm közötti szakaszon a folyó természetes állapotú, kanyargós, zátonyos, továbbra is intenzíven pusztítja és építi partjait. Ezen a szakaszon egy jelentős beavatkozás történt – 1982-ben került sor a vízvári kanyarulat (187 fkm) átmetszésére. A 227-238 fkm közötti szakasz gyakorlatilag szabályozatlan, csak lokális jelleggel épült egy-egy szabályozási mű kárelhárítási jelleggel. A partvédelemmel ellátott szakaszok aránya a felső szakaszon 16%, melynek kb. 80%-át a Botovo-Décseszentpál közti szakasz partbiztosításai teszik ki.

Az Alsó-Dráva Barcs alatti szakaszán a déli országhatár és Tótújfalu közötti szakaszon összesen 87,37 km hosszon húzódik árvízvédelmi töltés a magyar oldalon. A jobb oldalon összesen 51,30 km hosszon építettek töltést a horvátok. A Barcs fölötti szakaszán a bal part magaspartnak minősül, így kiépített árvízvédelmi töltés a magyar szakaszon nincs. A horvát területen Répás és Botovo közötti szakaszon épült 18 km hosszon árvízvédelmi töltés a bal oldalon, míg a jobb oldalon összesen 29,30 km hosszon építettek töltést a horvátok.

A Dráván létesült horvátországi vízlépcsőket és hidrológiai, hidromorfológiai hatásait a 7. fejezet mutatja be.

### 6.1.2 A Murán végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése

A Murán végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése Szerdahelyi (1982) tanulmánya és a Mura nagyvízi mederkezelési terve (SOLVEX-BME 2014g) alapján történt.

A Mura folyó felső szakaszán már a 18. század második felében is végeztek folyószabályozási beavatkozásokat, a 19. század második felében pedig az osztrák-szlovén határszakaszon is megkezdődött a folyószabályozás, melyek célja a meder stabilizálása és a hajózás biztosítása volt. Ennek érdekében partbiztosításokat végeztek, töltéseket és vezetóműveket építettek, elzárták a mellékágakat. A Mura felső szakaszának szisztematikus szabályozására 1874-1891 között került sor. A Sulm torkolatától a magyar határig szabályozták a medret, melynek hatására a folyó hossza lényegesen megrövidült. 1927-1936 között újból szabályozták a medret, vezetóműveket és partbiztosításokat építettek.

A Mura alsó, magyarországi szakaszán csak 1897-ben kezdődtek meg a szabályozási munkálatok, melyek célja az egységes meder kialakítása, a vízszintek csökkentése és a holtágak feltöltése, elárasztása volt. 1927-ben kanyarulat-átvágásokkal rendezték a horvát-magyar szakasz meandereit. Letenye térségében 1939-től végeztek partbiztosításokat, mederelzárásokat, illetve építettek sarkantyúkat folyószabályozási céllal. Magyarországi szakaszának hossza 80%-ban töltésezett, az árvédelmi töltések elsődlegesen lokálisan, az egyes települések védelmében épültek ki több ütemben, 1965-1992 között.

Partvédelmének, mederkotrásának célja a parterózióval szembeni védelem, a lefolyási viszonyok javítása. A beavatkozások során sarkantyúkat (10 db), vezetóműveket építettek, termésköves partbiztosítást végeztek a folyó magyarországi hosszának 40%-án, mederelzárásokat végeztek (a mentett oldali holtágak aránya 25%) (VKKI-NYUDUVIZIG 2010). A legutolsó mederrendezési célú kotrásokat a 2009-2010-es években végezték a zátonyképződés szempontjából aktív szakaszokon.

Schwarz (2007, 2019) hidromorfológiai állapotjelentése (6. táblázat) alapján a Mura az emberi beavatkozások előtti, természetes (referencia) állapotához képest 16 km-rel megrövidült, mederszélessége pedig 28-50%-kal csökkent. A kanyarfejltség (ld. 6.2.1. fejezet) és a szigetek száma is csökkent.

6. táblázat: A Mura néhány hidromorfológiai paramétere a beavatkozások előtti, természetes (referencia), illetve jelenlegi állapotában (Schwarz 2007, 2019) (az egyes kanyarulati jellemzők jelentését ld. 6.2.1. fejezet)

Mura	M-I (85-45 fkm)		M-II (45-0 fkm)	
	Referencia	Jelenleg	Referencia	Jelenleg
A szakasz hossza (km):	47	40	54	45
Mederszélesség (m):	80-250	50-180	80-150	40-100
A meander hullámhossza (km):	3.2	5.7	1.5	2.2
Amplitúdó (km):	2.0	0.9	3.2	2.3
Kanyarfejltség:	1.5	1.3	2.1	1.9
Szigetek száma (db):	80	10	7	4
Kanyarfejlődési stádium:	II-IV	II-III	II-V	II-III (IV)



### 6.1.3 A Rinyán végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése

A Rinya-vízrendszer főbefogadója a Babócsai-Rinya, amely régen még Barcs határában érte el a Drávát. Jelenlegi folyását valószínűleg átmetszéssel alakították ki, a Malomcsatorna építésével összefüggésben. Az átmetszés óta Barcstól mintegy 15 km-rel feljebb, Križnica település területén, az Ó-Dráva holtágon átfolyva torkollik a Drávába a Fekete ároknál (166,40 fkm) a bal oldalon. (VKKI-DDVIZIG 2010a)

Átfogó rendezése 1958-ban, a főág rendezésével indult meg. Folyószabályozási céllal mederkotrás történt (még 2009 után is több mint 1 km hosszon), kiegyenesítették a lefűződéseket, vízrendezést végeztek. A beavatkozások hatására a Babócsai-Rinya medre 100%-ban szabályozottá vált. Partvédelemmel csak hosszának 3%-a érintett. (VKKI-DDVIZIG 2010a)

A Babócsai-Rinyán 2 db duzzasztót, 2 db fenéklépcsőt és 6 db surrantót építettek, melyek megváltoztatták az esésviszonyokat. A fenéklépcsők ezen felül átjárhatósági problémát is okoznak – a Dráva tervezési alegység VGT 3.9. mellékletében közöltek alapján a 2 db fenéklépcső nem átjárható. (DDVIZIG 2016)

### 6.1.4 A Fekete-vízen végzett folyószabályozási beavatkozások áttekintése

A Fekete-víz a Dráva legjelentősebb bal parti mellékvízrendszere a magyar területen. A Fekete-víz mellékvízfolyásaival eredetileg mocsaras területet alkotott, melynek „kiszáraitására” már a 18. sz. elején megindultak a törekvések (Remenyik 2004). A jelenlegi vízrendszert a drávai ártér vízfolyásainak fokozatos rendezésével alakították ki a 19. században. Kiemelkedő jelentőségű ágainak medre már az 1970-es évekre 100%-ban szabályozottá vált. Az 1990-es évektől már az ökológiai szempontokat is figyelembe véve végeztek mederrendezési munkálatokat. (VKKI-DDVIZIG 2010b)

A folyószabályozási beavatkozások során kiegyenesítették a lefűződéseket, mederkotrást és vízrendezést hajtottak végre. Egy mederáthelyezés során maga a torkolat is átkerült a Dráva drávasabolcsi 76,50 fkm szelvényéből a tésefai 83,30 fkm szelvénybe. A Fekete-víz medre 90%-ban töltésezett vagy depóniás, partvédelemmel sehol sem látták el. A víztesten egy darab duzzasztót építettek. (VKKI-DDVIZIG 2010b)

## 6.2 A beavatkozások során megváltozott hidromorfológiai viszonyok bemutatása (korábbi tanulmányok alapján)

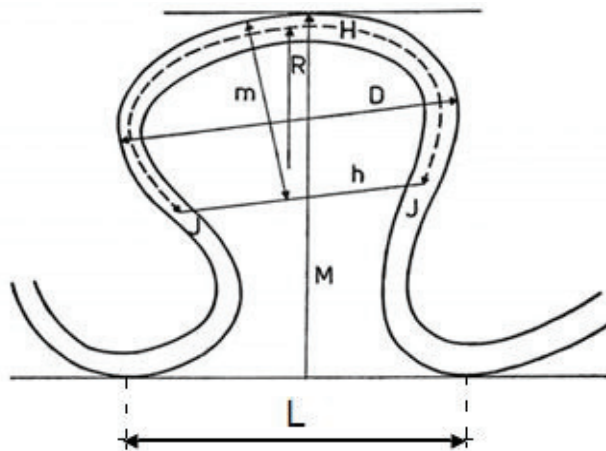
Schwarz (2007, 2019) hidromorfológiai állapotjelentése (7. táblázat) alapján röviden összefoglalható, hogyan változott a Dráva teljes alsó szakasza a természetes, szabályozások előtti (referencia) állapotához képest napjainkig. A különféle emberi beavatkozások (folyószabályozás, vízlépcsők, mederkotrás) hatásait természetesen igen nehezen lehet elkülöníteni. A beavatkozások hatására az elmúlt évszázad során a Dráva hossza 128 km-rel csökkent, s 20-70%-os mederszűkülés következett be. A kanyarfejlettség-értékek, illetve az előforduló kanyarfejlődési stádiumok az érett és túlfejllett kanyarulatok átvágásáról és a meder kiegyenesítéséről tanúskodnak. A mederszűkülés, a kanyargósság (kanyarfejlettség) és a szigetek számának csökkenése a formakincs egyszerűsödésére, a meder egységesebbé válására utal. Fontos megjegyezni, hogy a világháborúk miatt elmaradó karbantartási munkálatok következtében a kanyarulatok lassan újra fejlődésnek indulhattak (Schwarz 2019).

7. táblázat: A Dráva néhány hidromorfológiai paramétere a beavatkozások előtti, természetes (referencia), illetve jelenlegi állapotában (Schwarz 2007, 2019)

Dráva	D-II (235-185 fkm)		D-III (185-0 fkm)	
	Referencia	Jelenleg	Referencia	Jelenleg
A szakasz hossza (km):	68	50	295	185
Mederszélesség (m):	100-1500	80-450	200-400	120-300
A meander hullámhossza (km):	4.0	6.2	3.8	5.3
Amplitúdó (km):	3.1	1.1	4.5	2.2
Kanyarfejltség:	1.5	1.2	2.2	1.5
Szigetek száma (db):	90	15	45	6
Kanyarfejlődési stádium:	II-IV	II-III	II-V	II-III

### 6.2.1 Kanyarulati paraméterek, kanyarfejlődés (rövid áttekintés)

Egy kanyarulat általában vizsgált paramétere a következők: a két inflexiópont (J) között, a középvonalban mért kanyarulathossz (H), a húr hossz (h), az amplitúdó (m; a középvonal és a húr legnagyobb merőleges távolsága), a kanyarulati sugár (R; a kanyarulatba illeszthető legnagyobb kör sugara) és a kanyarulat maximális szélessége (D). Külön meghatározható a meanderszélesség (M) is.



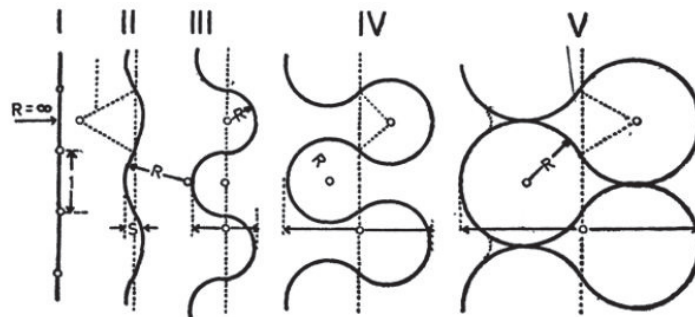
21. ábra: Kanyarulati paraméterek (Bognar 2008)

A medermintázat két mutatója a kanyarfejltség (S) és a fonatosság (B). A kanyarfejltség a kanyarulathossz és a húr hossz hányadosa, a fonatosság pedig az egy meander-hullámhosszra (L) eső zátonyok és szigetek száma. A kanyarfejltségi index alapján a mintázat lehet egyenes ( $S < 1,05$ ), kanyargós ( $S = 1,05 - 1,50$ ) vagy meanderező ( $S > 1,50$ ), míg a fonatosság mutatója az ágak számát jellemzi (egyágú meder esetén  $B < 1$ , intenzíven fonatos meder esetén  $B > 5$ ). A két index alapján a folyók alapvetően 6 fő alaktípusba sorolhatók (Timár 2005):

8. táblázat: Alluviális vízfolyások alaktípusai a fonatosodási index és a kanyarfejltség alapján (Timár 2005)

	$B < 1$	$1 < B < 3$	$B > 3$
$S < 1,5$	egyenes	fattyúágas	fonatos
$S > 1,5$	meanderező	vándorló	szövedékes

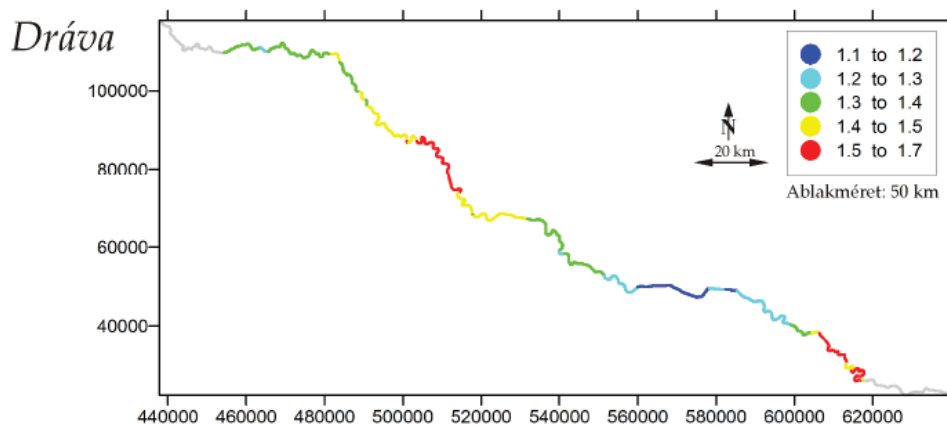
Egy egyenes vonalvezetésű folyón akkor kezd el kialakulni egy kanyarulat, ha a sodorvonala valamilyen hatás következtében eltérül. Bogárdi (1942) szerint valószínűsíthető, hogy ilyenkor a mederellenállások egyenetlensége miatt kezdődik meg a kanyarulatfejlődés. A kanyarulatfejlődést a vízjárás és a vízhozam alakulása, a hordalék- és esésviszonyok, valamint a part és a meder anyaga egyaránt befolyásolják. Természetes körülmények között a belső ív folyamatos épülésén (feltöltődésén) és a külső ív folyamatos pusztulásán (hátrálásán) keresztül fejlődik a kanyarulat (22. ábra).



22. ábra: Kanyarfejlődési stádiumok (Bognar 2008)

Az egyes kanyarulatok fejlődési stádiuma a kanyargóssági index (vagy kanyarfejltség) alapján határozható meg. Amennyiben  $S=1,05-1,10$ , a kanyarulat fejletlen (II. stádium),  $S=1,10-1,40$  esetén fejlett (III),  $S=1,40-3,50$  esetén érett (IV), 3,50 fölött pedig már túlfejlett a kanyarulat.

Petrovszki (2013) a Második Katonai Felmérés alapján meghatározta a kanyarfejltség-értékeket a Dráva mentén, még az emberi beavatkozások előtt (23. ábra). A bemutatott eredmények alapján a 18. század első felében, természetes állapotában a Dráva kanyarulati jellemzően fejlettek (III), illetve érettek (IV) voltak.



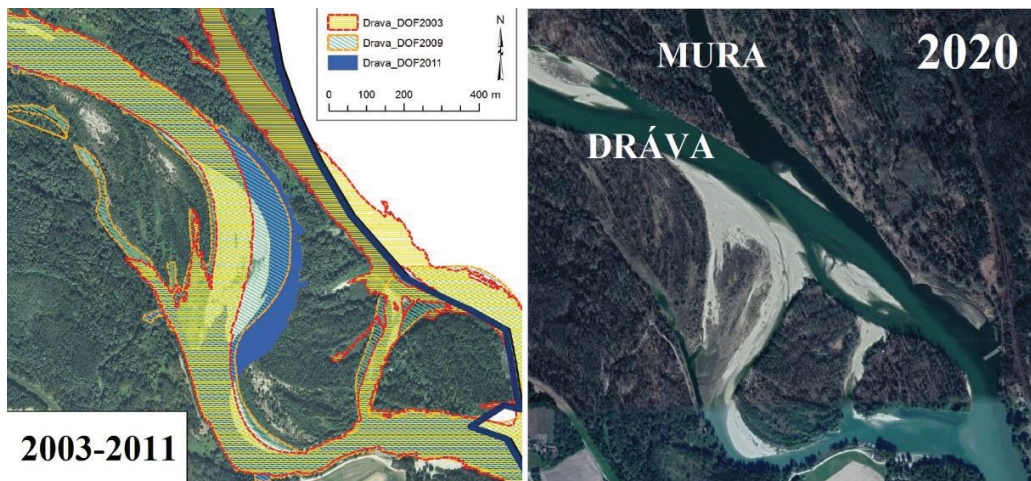
23. ábra: A kanyarfejltség alakulása a Dráva mentén a folyószabályozási beavatkozások előtt (Petrovszki 2013)

## 6.2.2 Változások a Dráva mentén a 19. századtól napjainkig

A 19-20. századi folyószabályozások hatására a vizsgált szakaszon látványos változások mentek végbe a Dráva medrében. A 19. századi kanyarulat-átvágások hatására hossza mintegy 40%-kal csökkent, a sarkantyúk, a partbiztosítások és a szabályozási célú kotrások lokális jelleggel mederszűkítést és medermélyülést okoztak, a 20. században épült vízerőművek folyamatosan csökkentették a vízszintet.

A vízfelszín területe 1882 és 2007 között folyamatosan, közel a felére csökkent (Andrási 2015). Ezzel párhuzamosan a meder átlagos szélessége is 1,8-3,6 m/év ütemben, több mint a felére csökkent (Andrási 2015). A medermorfológia e két jellemzője változásának hatására a formakincs egyszerűsödött, a meder egyre egységesebbé vált. A Dráva teljes alsó szakaszán 1882-2007 között a fonatosság 0,86-ról 0,58-ra csökkent, a kanyargósság azonban mindent egybevetve, nem változott ( $S=1,24$ , vagyis fejlettek a kanyarulatok). A kanyarulati paraméterek, a kanyarfejlettség és a fonatosság korábbi tanulmányokban közölt értékeit részletesen a 9. táblázat tartalmazza (a fejezet végén).

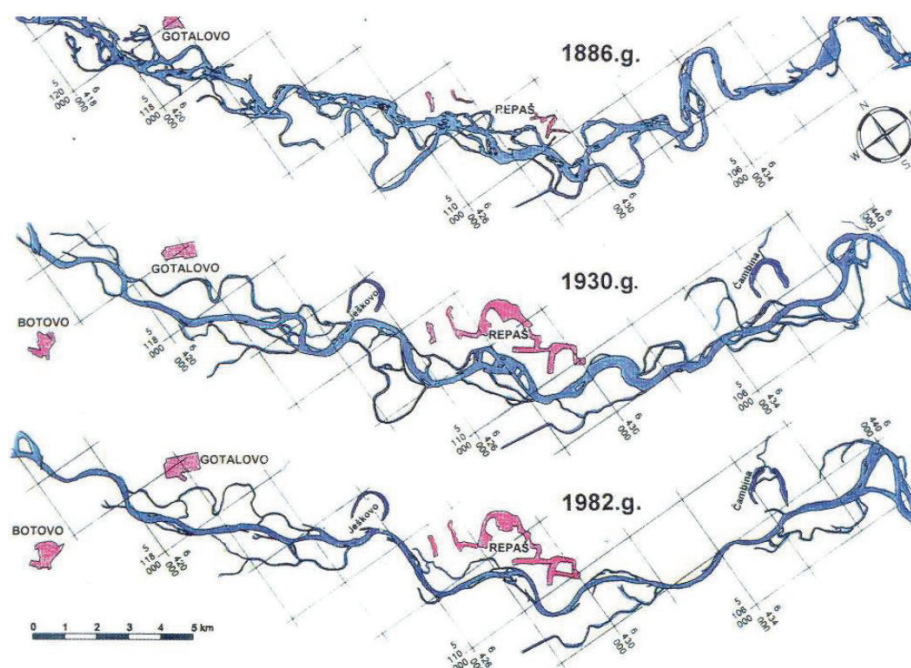
Habár a tanulmányban vizsgált szakasz a Mura torkolatánál kezdődik, érdemes megjegyezni, hogy a szabályozások hatására a Légrád-Varasd szakaszon egyre északabbra tolódott a Dráva medre, a Donja Dubrava-i vízlépcső megépítése és üzembe helyezésének (1989) hatására pedig jelentősen megváltozott a vonalvezetése. A Légrád (Őrtilos) térségében a Dráva Mura-torkolat előtti szakaszán kialakult kettős kanyarulat rendkívül dinamikus fejlődik, melynek következtében a két folyó közti távolság, s a Mura torkolatának helye is gyorsan változik. Míg a vízlépcsők létesítése után a 40 évvel ezelőtti állapothoz képest 900 m-rel lejjebb vándorolt a torkolat, az azóta létrejött új, dinamikus egyensúly következtében 2013-ra már 200 m-rel újból feljebb került a torkolat (Bonacci és Oskoruš 2019), napjainkban pedig még feljebb található a két folyó (24. ábra).



24. ábra: A légrádi kanyarulat vonalvezetése 2003-2011 között (balra; Matica és Turinski 2013) és napjainkban (jobbra; Google Earth felvétel, letöltve: 2020. július 26.)

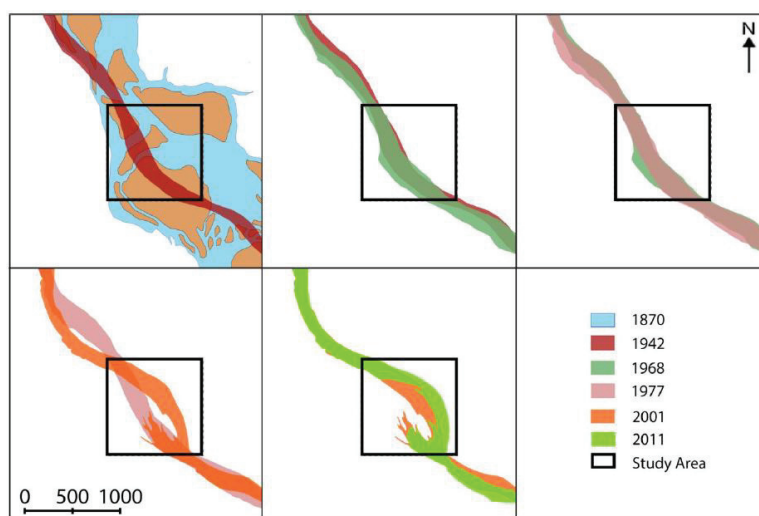
A Dráva természetes állapotában a felső szakaszon a szigetek nagy száma miatt több ágra szakadó (így szélesebb), fonatos meder volt a jellemző (Schwarz 2007, Andrási 2015). A vízerőművek hatására a fonatosság mértéke 1882-2007 között lényegesen csökkent (1,73-ról 0,96-ra; Andrási 2015), egységesebbé vált a meder, kanyargós mintázata azonban megmaradt (a kanyargóssági index 1,37-ről 1,33-ra változott; Andrási 2015) (25. ábra).





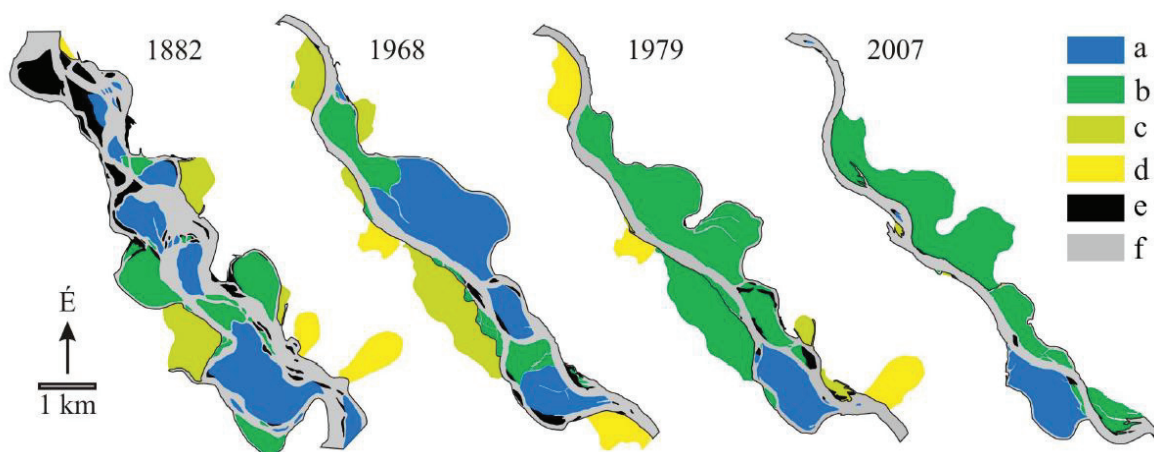
25. ábra: A Dráva vonalvezetésének alakulása a Botovo-Vízvár ( 227,21-187,59 fkm) szakaszon 1886-1982 között (Besenić 2017)

A Donja Dubrava-i vízerőmű alatt 26 km-rel, Sigetec közelében (222-220 fkm) lévő kanyarulatra a vízerőmű hatásán kívül nem hat egyéb antropogén hatás. A Dráva természetes medre a Harmadik Katonai Felmérés (1870) idején még több ágra szakadó, fonatos mintázatú volt. 1942-re a vízszintek csökkenése miatt az átlagos mederszélesség drasztikusan csökkent (85-87%-kal), a fonatos mintázatot egy egyszerűsödött, egyágú, meanderező meder váltotta fel. A vízlépcsők üzembe helyezésével a medersüllyedés intenzívebbé, a kanyarulat egyre kifejezettebbé vált, 2001-ben pedig megindult a lassú meanderfejlődés is (26. ábra). A sigeteci meander 2011-ben már fejlett volt ( $S=1,17$ ; Kiss és Balogh 2015).



26. ábra: A Dráva vonalvezetésének alakulása Sigetec közelében (222-220 fkm) 1870 és 2011 között (Kiss és Balogh 2015)

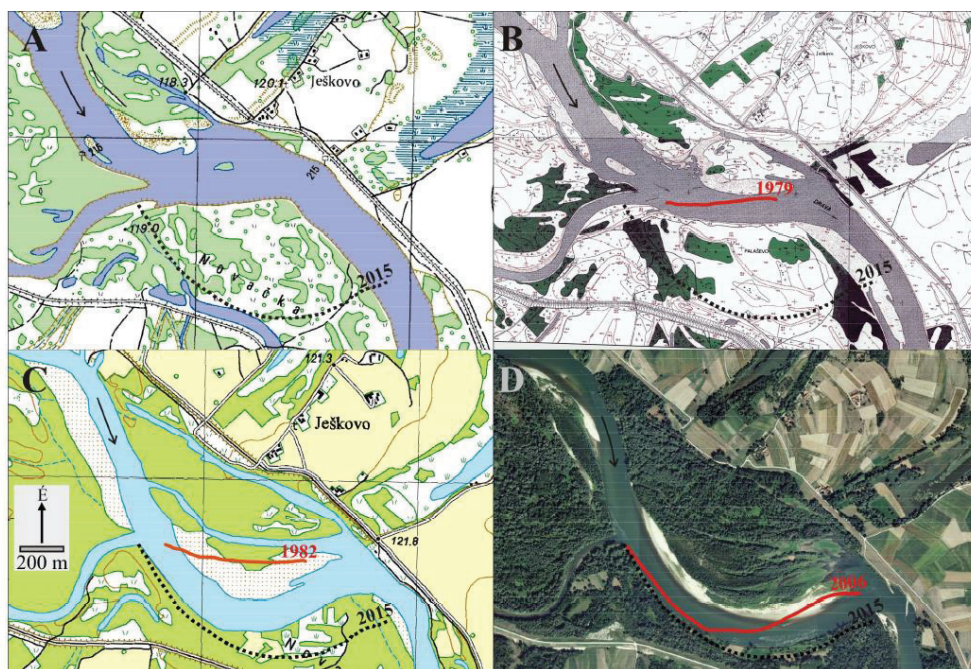
A 215,40-202,20 fkm szakaszon csak néhány sarkantyút építettek, ugyanakkor a Donja Dubrava-i vízerőmű erőteljes hatással van a meder dinamikájára (27. ábra). A vízerőművek megépítése előtt a széles mederben a szigetek jelentős hányada a sodorvonalban volt, illetve a parthoz vagy egy másik szigethez simult. A szigetfejlődési folyamatok és a szigetek megnyúlási indexének ismeretében elmondható, hogy a folyószabályozások előtt a Dráva felső szakasza dinamikusan fejlődött, formakincsét akár egy-egy jelentősebb árvíz is átrendezhette (Andrási 2015). A 20. században a vízerőművek által jelentősen módosított vízjárás hatására csökkent a szigetek száma és területe, a meder pedig igen intenzív ütemben szűkült.



27. ábra: A Dráva vonalvezetésének alakulása a 215,40-202,20 fkm szakaszon 1882 és 2007 között (Andrási 2015)  
(Jelmagyarázat: a: sodorvonalban lévő, b: parthoz vagy másik szigethez simuló, c: részlegesen partba olvadt, d: teljesen partba olvadt, e: csupasz zátony, f: vízfelszín)

A goli kanyarulat (216-215 fkm) felvívén elhelyezkedő medertágulat 1982-ben megkezdődött pusztulásával a sodorvonal fokozatosan a jobb part felé helyeződött át, intenzíven rombolva a külső ívet (28. ábra). Az 1982-ben, illetve 1989-ben üzembe lépő horvát vízerőművek hatására a kanyarulatot magába foglaló mederszakasz 1979-2011 között átlagosan 50 m-t (21-38%-kal) szűkült. 2006-2011 között a megnövekedett kanyarfejltség következtében a sodorvonal jobban nekiszorult a külső ívnek és annak dinamikusabb hátrálását okozta. (Andrási 2015)



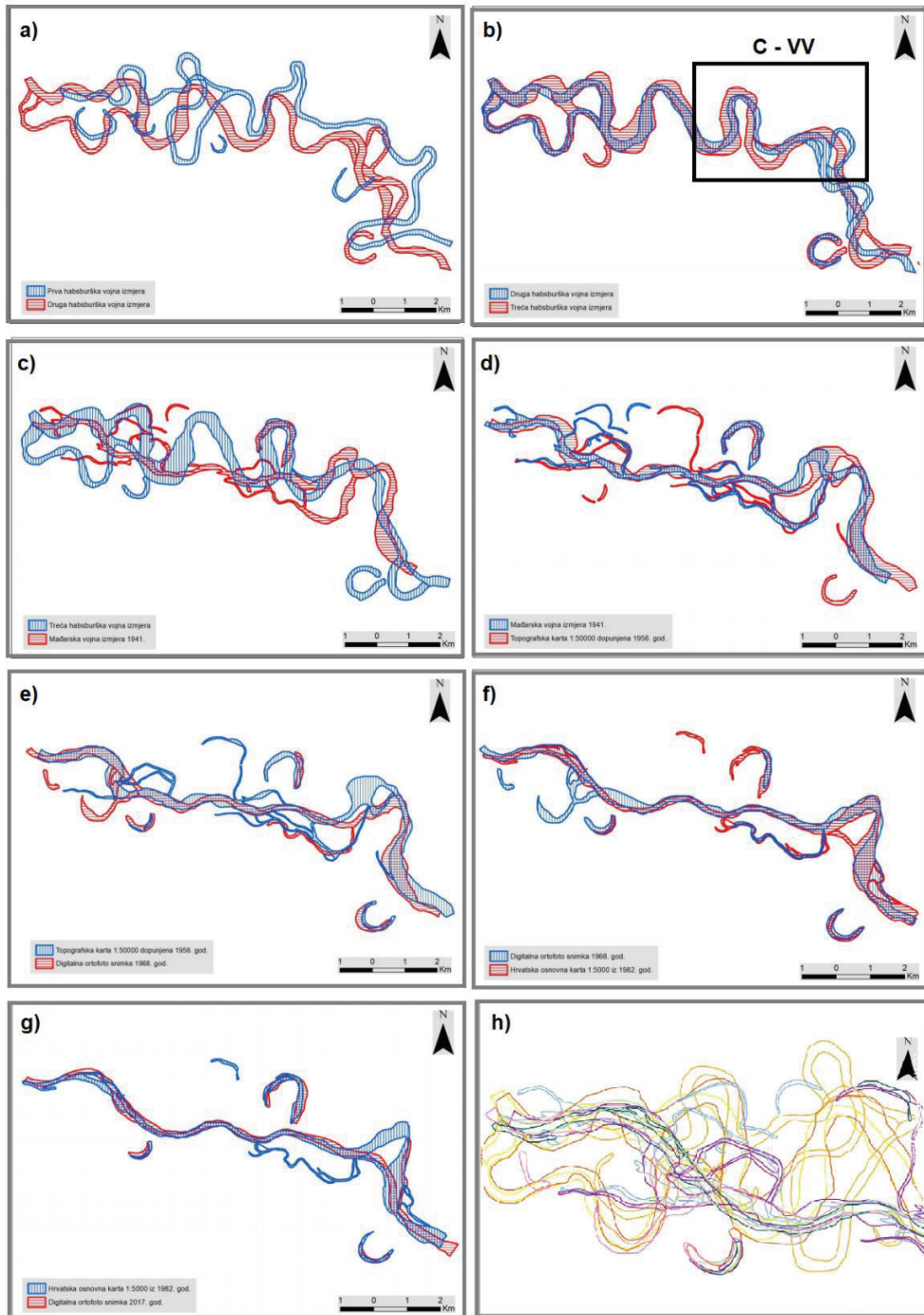


28. ábra: A golai kanyarulat (216-215 fkm) kialakulása és a külső ív hátrálása 1979-2015 között (Andrási 2015)  
(A: 1979, B: 1982, C: 2006, D: 2015)

Kulej (2019) a Répás-Décseszentpál közötti szakasz (207,79-190,07 fkm) vonalvezetésének alakulását vizsgálta 1782-2017 között digitalizált történelmi térképek és légifelvételek alapján (29. ábra). A szabályozások során elsősorban a hajózási útvonal javítására több kanyarulatot átvágtak, helyenként partbiztosításokat építettek, melyek hatására a szakasz hossza a felére csökkent, s összesen 12 db holtág alakult ki, melyből mára már csak 4 állandó vízborítású. A vizsgált 235 év alatt a medermintázat leegyszerűsödött, a kanyarfejlettség jelentősen csökkent.

Az I. Katonai Felmérés alapján (megjegyzés: helyenként pontatlan) a folyószabályozási munkálatok legelső szakaszában (1780-as évektől a 19. század elejéig) ez a szakasz jellemzően háborítatlan volt, csak egy átvágást végeztek. A II. Katonai Felmérés idejében a meder meanderező-vándorló lehetett. Az I. Katonai Felméréshez képest (kb. 86 év alatt) 6 km-rel csökkent a folyószakasz hossza. A III. Katonai Felmérésig a kanyarulatok egyre élesebbé váltak (egy kanyarulatot át is vágtak 3 km hosszon), majd az 1880-as évek elején megtörtént a Čambina-i kanyarulat átvágása is. A 20. századi meder lényegesen egyszerűbb vonalvezetésű, a korábban még kanyargós-meanderező, részben fattyúágas mintázatú meder egy keskenyebb, kanyargós, egyágú mederré vált. Az utolsó jelentősebb beavatkozás a szakasz utolsó érett kanyarulatának, a vízvári Öreg-kanyarnak az átvágása volt. Ez jelentős meder- és parteróziót is okozott (Matica és Turinski 2013).

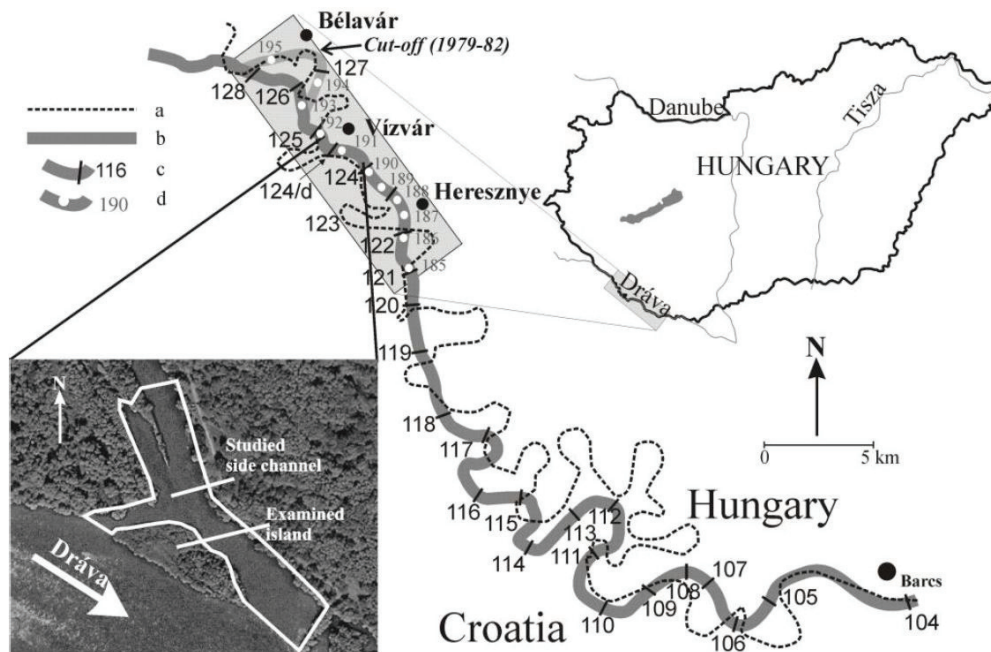
A Répás-Décseszentpál közötti szakaszon Kulej (2019) három kanyarulat (a Čambina-i, a vízvári Öreg-kanyar és a köztes kanyarulat; 29. ábra: C-VV) fejlődését a II-III. Katonai Felmérések alapján külön is megvizsgálta. Ebben az időszakban már mindhárom kanyarulat érett volt, egyedül a köztes kanyarulat fejlődött jelentősebben (a kanyargóssági indexe 1,42-ről 1,87-re nőtt). A fonatosságot is tekintetbe véve, a meder ekkor vándorló-szővedékes mintázatú volt.



29. ábra: A Rápás-Décseszentpál közötti szakasz (207,79-190,07 fkm) vonalvezetésének alakulása 1782-2017 között (Kulej 2019). a) I. és II. Katonai Felmérés, b) II. és III. Katonai felmérés; C-VV: Čambina-Vízvár kanyarulatrendszer, c) III. Katonai Felmérés és 1941-es magyar felmérés; d) 1941-es magyar felmérés és 1956-os topográfiai térkép, e) 1956-os topográfiai térkép és 1968-as ortofotó, f) 1968-as ortofotó és 1982-es horvát térkép, g) 1982-es horvát térkép és 2017-es ortofotó (az a-g ábrákon minden esetben a piros szín jelöli a frissebb felmérést); h) a vonalvezetés alakulása 1782 (sárgával) és 2017 (sötétkékkel) között.

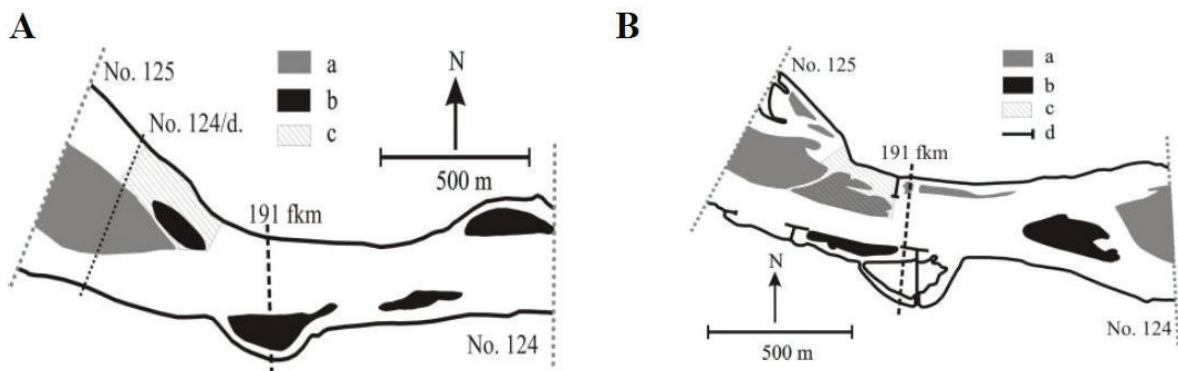
A Bélavár és Barcs közötti, kb. 40 km hosszú szakaszon a kanyarulat-átvágásokon túl a horvát vízerőművek (és a kavicskitermelés) hatásai érvényesülnek, egyéb folyószabályozási beavatkozások (pl. sarkantyúk,

partbiztosítások) csak néhol, lokális jelleggel történtek. 1972 és 2006 között a szakasz egyes egységei váltakozva szűkültek és tágultak, a sodorvonal egyre kifejezettebbé vált, amely intenzívebb meanderező mintázatra utal (Kiss et al. 2011). A szigetfejlődés alapján a mederfejlődés dinamikája csökkenő tendenciát mutat – a meder egyszerűsödött (30. ábra).



30. ábra: A Dráva vonalvezetésének alakulása a Bélavár-Barcs szakaszon (198,00-154,10 fkm) 1920 (a) és 2006 (b) között (Kiss et al. 2011)

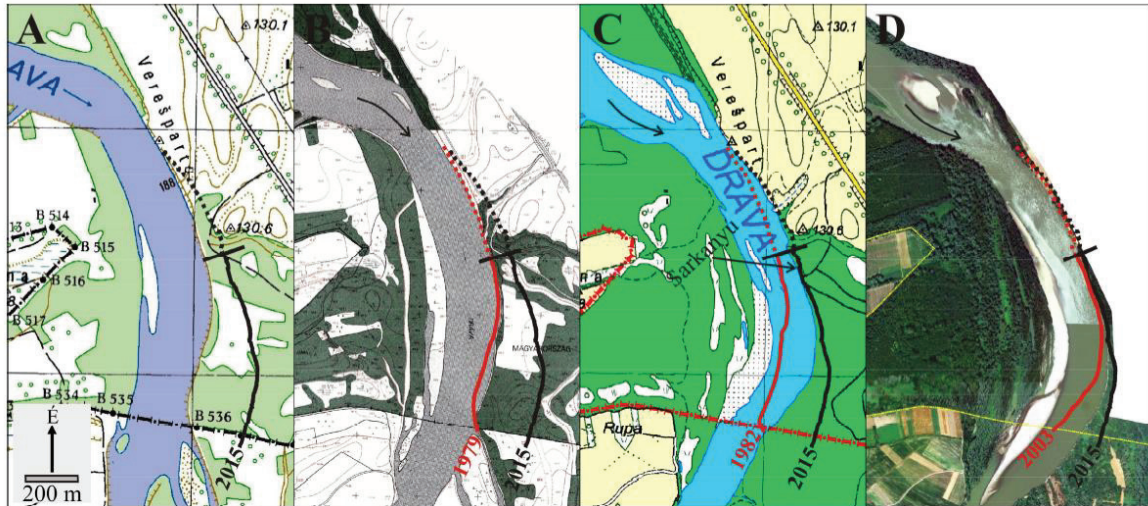
Andrási (2015) és Kiss et al. (2011) külön vizsgálták a sarkantyúépítés következtében, vagyis antropogén hatásra bekövetkező szigetépülést és -fejlődést a Dráva két kanyarulatában (Novo Virje-i és vízvári (31. ábra); 193,50-191,20 fkm). A sarkantyúk mögötti feltöltődés miatt folyamatosan épül a két vizsgált 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.



31. ábra: A vízvári kanyarulat (191 fkm) fejlődése 1972 (A) és 2006 (B) között (Kiss et al. 2011) (Jelmagyarázat: a) sziget, b) zátony, c) mintaterület, d) sarkantyú.)

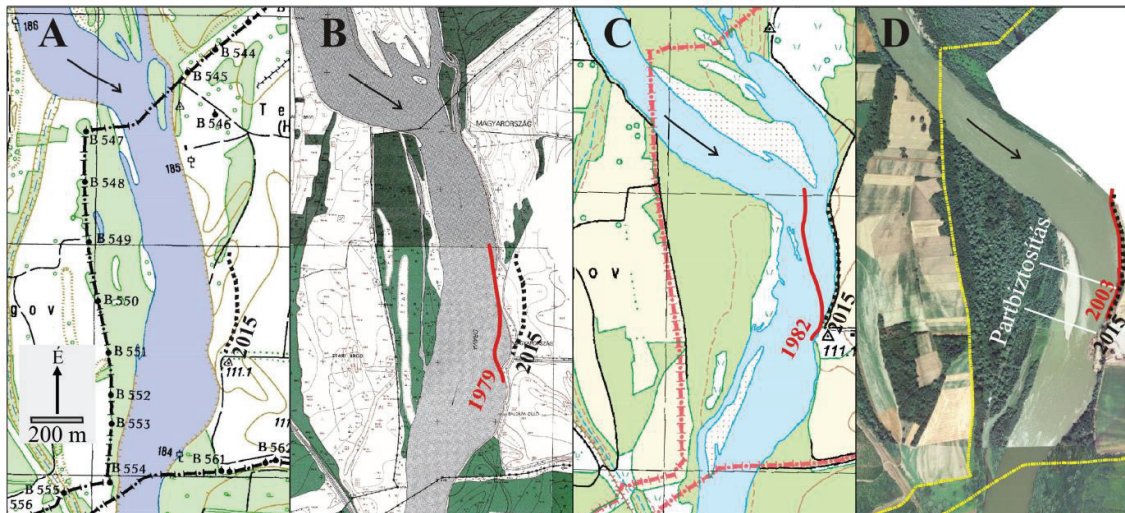


A Heresznye és Bolhó melletti kanyarulatok fejlődését szintén sarkantyúk és partbiztosítások befolyásolják. A feljebb található vízvári kanyarulat átvágásának hatására a sodorvonal eltérült, s a heresznyei kanyarulat (188-187 fkm) egyre fejlettebbé vált (32. ábra), noha a mederszűkülés 1979-2011 között 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.



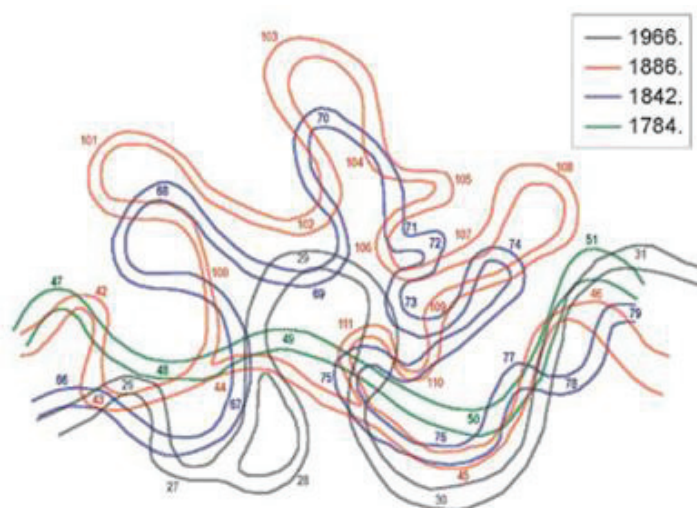
32. ábra: A heresznyei kanyarulat (188-187 fkm) kialakulása és fejlődése 1979 és 2011 között (Andrási 2015)  
(A: 1979, B:1982, C: 2003, D: 2011)

A bolhói kanyarulatot (185-184 fkm) 1979-ben még egy közel egyenes, egyágú meder jellemezte (Andrási 2015). A kanyarulat a szakasz felvizen 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 (33. 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)



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

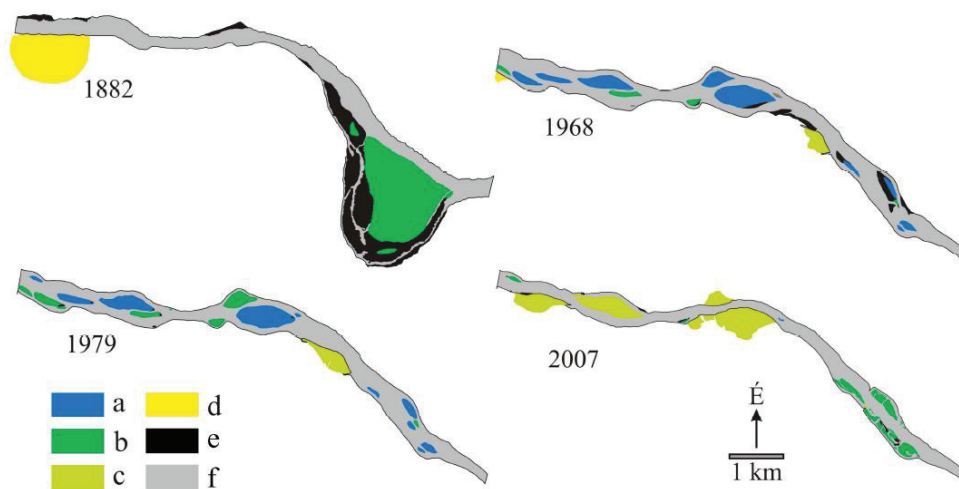
A križnicai (babócsai) meanderrendszert (173-166 fkm) 1784-ben még jellemzően fejletlen, illetve fejlett kanyarulatok alkották, 1842-re azonban a legtöbb kanyarulat éretté, túlfejletté vált. A folyó hosszának és az árvízi veszély csökkentésének érdekében 1842-1844 között több sikertelen kanyarulat-átvágást is végeztek (Bognar 2008). Az 1882-1886 között megismételt beavatkozások során már sikeresen átvágták a túlfejlett kanyarulat-rendszert, a főágban főként fejlett kanyarulatokat eredményezve (34. ábra). Érdekesség, hogy a beavatkozások következtében Križnica átkerült a Dráva bal partjára. Látható, hogy 1966-ra a legtöbb kanyarulat újból igen éretté vált. Az intenzív kanyarulatfejlődés a folyó megnövekedett erodáló erejének következménye, amely a meder átvágásán túl a vízlépcsők és a kavicskotrás hatásának tudható be. A meanderek fokozottabb összenyomódását ezen a szakaszon az ÉNY-DK és É-D irányultságú tektonikai vetők okozzák (Bognar 2008).



34. ábra: A križnicai kanyarulatrendszer (173-166 fkm) alakulása 1784 és 1966 között (Bognar 2008)

A Barcs fölötti szakasszal szemben az alsó szakaszon a meder mindig is főként egyágú, kanyargós volt, kevés szigettel. A 19. század végére az átvágásokkal kiegyenesített szakaszok elkezdtek kiszélesedni, megindult a szigetképződés, s nőtt a fonatosság (0,38-ról 0,42-re) – a kanyarfejltség azonban a teljes szakaszon megmaradt ( $S=1,19-1,20$ ) (Andrási 2015).

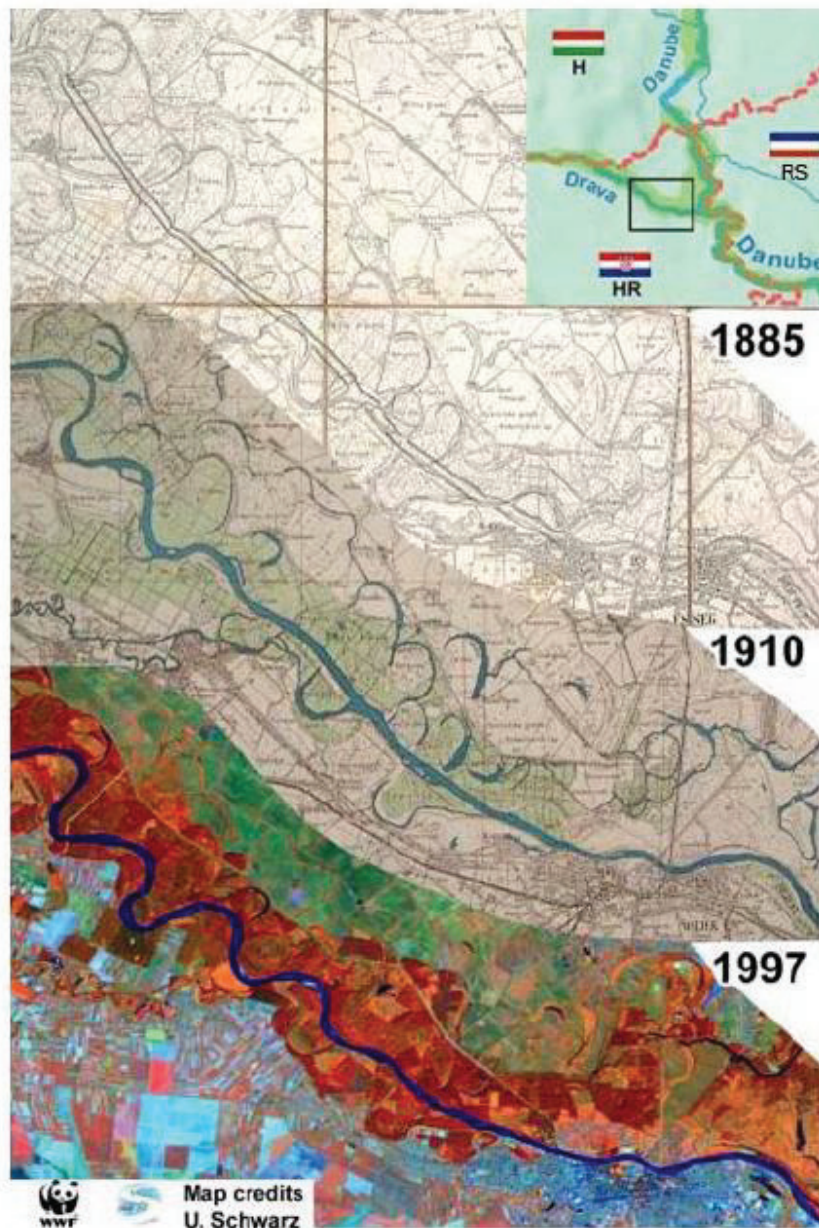
A 149,10-138,90 fkm szakaszon a folyószabályozási beavatkozások hatottak erőteljesebben a medermorfológiára. Ezen a szakaszon a Dráva medrét két nagy kanyarulat átvágásával először kiegyenesítették, majd a 20. században a szigetek alakulása miatt több ágra szakadó medret a hajózási útvonal biztosítása érdekében sarkantyúkkal egységesítették. 2007-re jelentősen elkeskenyedett a meder (35. ábra).



35. ábra: A Dráva vonalvezetésének alakulása a 149,10.138,90 fkm szakaszon 1882 és 2007 között (Andrási 2015)  
(Jelmagyarázat: a: sodorvonalban lévő, b: parthoz vagy másik szigethez simuló, c: részlegesen partba olvadt, d: teljesen partba olvadt, e: csupasz zátony, f: vízfelszín)

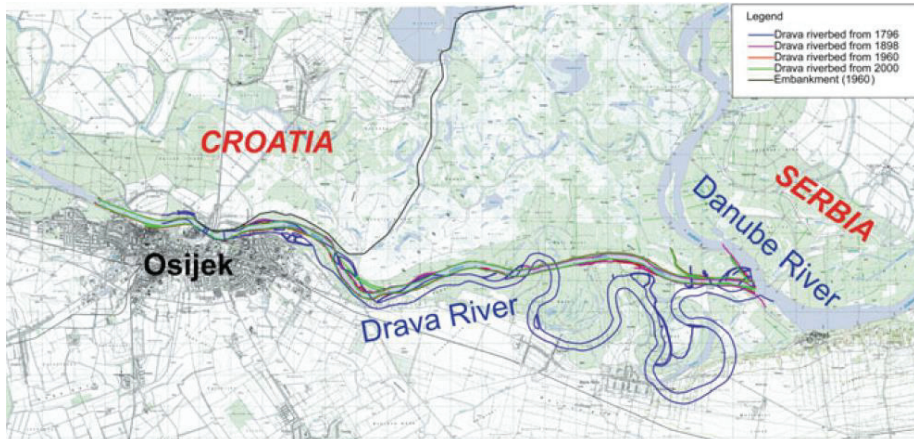
A Donji Miholjactól Eszékig (80,60-18,90 fkm) tartó szakasz egy pozitív példája annak, hogy a folyószabályozási beavatkozások fenntartása nélkül a folyónak esélye van magától visszaállni egy közel természetes állapotba (WWF 2002). 1900-ban a teljeskörű mederkiegyenesítések hatására a Donji Miholjac alatt 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 (36. ábra).





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

Az Eszéktől a torkolatig tartó szakaszon (elsődlegesen) a megfelelő hajózási útvonal biztosítása érdekében 1880 és 1898 között jelentős folyószabályozási munkákat végeztek (Bonacci és Oskoruš 2019). A két legnagyobb kanyarulat átvágásával együtt a meder kiegyenesítésével mintegy 13 km-rel csökkent a torkolati szakasz hossza, a delta torkolat pedig teljesen eltűnt (37. ábra). A 20. századi töltésépítések következtében az Eszék alatti torkolati szakasz a mai napig teljesen szabályozott.



37. ábra: A Dráva vonalvezetésének változása a torkolati szakaszon (Eszék alatt) 1796 és 2000 között (Bonacci és Oskoruš 2019)

A mederelzárás hatására bekövetkező meder- illetve partererózió mértékét vizsgálta például Carević et al. (2008) Drávanémetinél. A Dráva régi medrét 2005-ben elzárták, melynek hatására a mellékágban azonnal intenzív medererózió indult meg. A medererózió intenzitása néhány hónap után alábbhagyott, átadva helyét a partererózióknak. A tanulmány számításai alapján 3,5-8 év alatt alakulhatott ki az új egyensúlyi állapot, amely már a 2020. évi műholdfelvételen is látható (38. ábra).

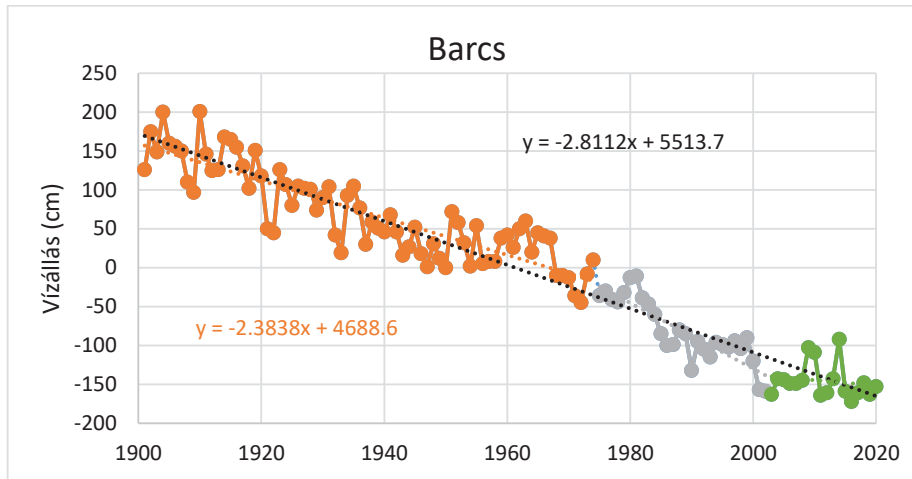


38. ábra: A drávanémeti kanyarulat fejlődése a 2005-ös elzárás óta (bal: Carević et al. 2008, jobb: Google Earth, letöltve: 2020. július 10.)

### 6.3 A mederalakra kifejtett hatás becslése

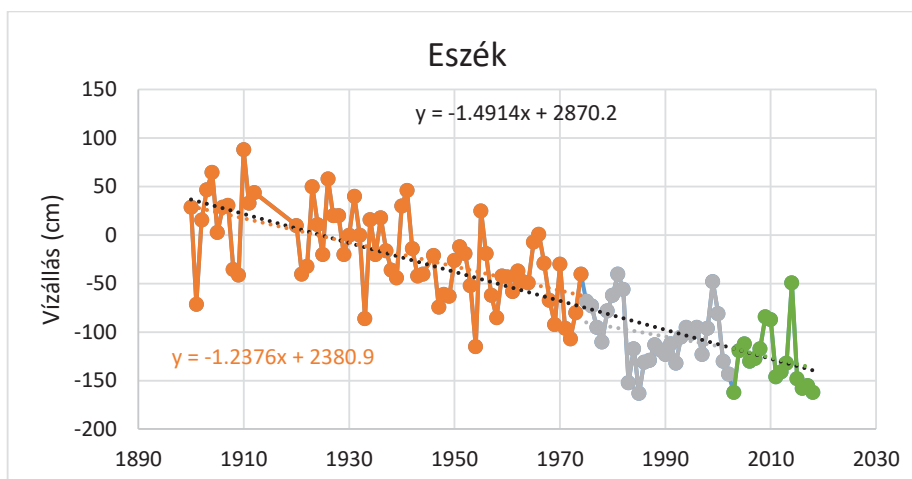
A 6.2. fejezetben bemutatott vonalvezetési változások mellett becsülhető a mederalakra kifejtett hatás is. Az átvágások hatására megnövekszik a meder esése (Hooke 1995), a nagyobb energiájú folyó a természetes állapot elérése érdekében oldalirányban is pusztítani kezdi a medrét, miáltal elkezd szélesedni, kanyarogni. Az elhordott hordalék lejjebb szigeteket és zátonyokat alakít ki (Kiss és András 2017). Azokon a szakaszokon, ahol az átvágás után elhelyezett partbiztosítás és terelőmű megakadályozza az oldalirányú alakváltozásokat, bevágódási folyamat indul meg (Surian 1999). A partbiztosítással ellátott szakaszokon mederszűkülés és medermélyülés, valamint a kanyarulatok egyre élesebbé válása várható (Kiss 2014), ugyanis a partbiztosítás gátolja a külső ív természetes vándorlását, de a belső ív továbbra is folyamatosan töltődik (Surian 1999). A partvédelemmel ellátott szakaszok ismeretében a Barcs fölötti szakasz kb. 16%-án, míg a Barcs és az országhatár közti szakasz kb. 38%-án akadályozza partbiztosítás a Dráva oldalirányú

mozgását (ld. 6.1.1. fejezet). A sarkantyúkkal szabályozott szakaszokon rendszerint partbiztosítást is alkalmaznak, így a mederszűkítés a meder mélyülésével jár együtt, a sarkantyúk mögött pedig feltöltődik a meder. A töltések hatására szintén beszűkül, s mélyül a meder.



39. ábra: A barcsi kisvízszintek alakulása 1901-2020 között. A színek magyarázata: narancs: 1901-1974 (csak folyószabályozási beavatkozások), szürke: 1975-2002 (vízlépcsők és mederkotrás is), zöld: 2003-2020 (a kotrás megszűnése óta); fekete: 1901-2020.

Az első horvát vízlépcsőt (Varasd) 1975-ben helyezték üzembe, így az 1975 előtti időszokról elmondható, hogy főként csak a folyószabályozási beavatkozások voltak hatással a Dráva vízszintjeire (Bonacci és Oskoruš 2010). A barcsi és az eszéki vízmérce szelvényéből 1900 óta vannak adatok - ráadásul a Barcs alatti szakaszon jelentős szabályozási munkálatokat végeztek -, így ezek az idősorok kifejezetten alkalmasak a folyószabályozások hatására bekövetkezett mederváltozások becslésére. A kisvízszintek csökkenése alapján Barcsnál (39. ábra) 2,38 cm/év, Eszéknél (40. ábra) 1,24 cm/év ütemben mélyült a meder az 1900-1974 közötti időszakban, amikor a folyószabályozási beavatkozásokon kívül nem hatott más antropogén tényező.

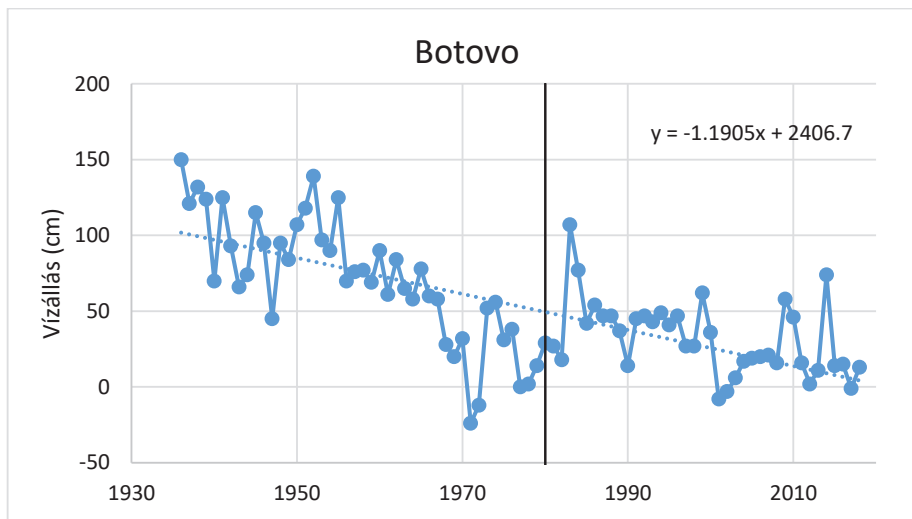


40. ábra: Az eszéki kisvízszintek alakulása 1900-2018 között. A színek magyarázata: narancs: 1900-1974 (csak folyószabályozási beavatkozások), szürke: 1975-2002 (vízlépcsők és mederkotrás is), zöld: 2003-2020 (a kotrás megszűnése óta); fekete: 1900-2018.



A többi drávai állomás rövidebb (7-50 év) kisvízszint-adatsorainak elemzése alapján a Barcs fölötti szakaszon átlagosan 0,50 cm/év, a Barcs alatti szakaszon 2,08 cm/év volt a medersüllyedés üteme. Az 1975 előtti időszakban a teljes szakaszon átlagosan 1,53 cm-rel mélyült a Dráva medre.

A kanyarulat-átvágások hatására bekövetkező mederváltozás is tetten érhető az egyes idősorokban. A Botovo melletti kanyarulat (229-227 fkm) átvágását 1978-1980 között végezték. Jól megfigyelhető (41. ábra), hogy az átvágást követően a mederesés hirtelen növekedésének következtében mélyülni kezdett a meder (kb. 3,67 cm/év ütemben), majd 1-2 év múlva egy új, dinamikus egyensúly keretében a partjainak erodálása, medrének szélesítése révén a Dráva medre újra épülni kezdett. Hasonló folyamatok figyelhetők meg a vízvári kanyarulatrendszer (199-191 fkm) 1982-es, illetve a zalátai kanyarulat (109 fkm) 1991-es átvágása után is.



41. ábra: A botovoi kanyarulat átmetszésének (1978-1980) hatása a kisvízszintekre

A hosszú idejű vízállás-idősorok elemzése alapján az őrtilosi szelvény a vízlépcsők megépítése utáni és az intenzív kotrással jellemezhető időszakban kb. 3,40 cm/éves folyamatos mélyülést mutat. A kotrási tevékenység befejeztével, az elmúlt mintegy 10 évre a meder mélyülése megállni látszik. A Barcs fölötti szakaszon 2,38 cm/év-re becsülhető a folyószabályozási beavatkozások hatására bekövetkezett medersüllyedés mértéke, míg a jóval szabályozottabb Barcs és Drávaszabolcs közötti szakaszon 4,13 cm/év-re tehető a medersüllyedés. Míg a vízlépcsők és a kotrási tevékenység fokozta a medermélyülést, az elmúlt 10 év vízállásainak stabilizálódása alapján kijelenthető, hogy a vízlépcsők és a mederkotrás mellett a folyószabályozások hatása is elmúlt és a meder a vizsgált szakasz mentén stabil állapotokat mutat.

9. táblázat: A kanyarlati paraméterek, a kanyarfejllettség és a fonatosság értékeinek alakulása korábbi tanulmányok alapján (áttekintés)

Szakasz	Felmérés ideje	Kanyarlati paraméterek						Kanyarfejllettség (S)	Fejlődési szakasz	Fonatosság (B)	Alaktípus	Forrás
		Hely (fkm)	H (km)	h (km)	m (km)	R (km)	D (km)					
Magnevezés teljes szakasz	236-0							1.10-1.70	IV		kanyargó, meanderező	Petrovski (2013)
	236-0	1882						1.24	III	0.86	kanyargó, egyágú	Andrási (2015)
		1968						1.24	III	0.85	kanyargó, egyágú	
		1979						1.24	III	0.66	kanyargó, egyágú	
		2007						1.24	III	0.58	kanyargó, egyágú	
D-II	235-185						1.50	IV		kanyargó, meanderező, részben fattyúágas (átmeneti szakasz)	Schwarz (2007, 2019)	
Barcs fölötti szakasz	2006							1.20	III		kanyargó, egyágú	Andrási (2015)
	1882							1.37	III	1.73	kanyargó, fattyúágas	
	1968							1.37	III	1.39	kanyargó, fattyúágas	
	1979							1.36	III	1.06	kanyargó, fattyúágas	
	2007							1.33	III	0.96	kanyargó, egyágú	
Sigetec	222-220							1.06	II		fattyúágas	Kiss és Balogh (2015)
	1942			1.49	0.24	0.93		1.04	I		egyenes, egyágú	Kulej (2019)
	1968		1.03	0.99	0.10	0.86		1.02	I		egyenes, egyágú	
	1977		1.44	1.41	0.14	1.10		1.07	II		kanyargó, egyágú	
	2001		1.25	1.18	0.19	1.00		1.17	III		kanyargó, egyágú	
	2011		1.13	0.97	0.23	0.66		3.03	IV		meanderező, egyágú	
	II. K. F.		2.27	0.75	0.99	1.96	1.15	3.05	IV		meanderező, egyágú	
	III. K. F.		2.32	0.76	1.08	1.87	1.16	1.42	IV		kanyargó, egyágú	
	II. K. F.		1.50	1.06	0.63	2.58	1.23	1.87	IV		meanderező, egyágú	
	III. K. F.		2.50	1.34	1.06	2.90	1.66	1.52	IV		meanderező, egyágú	
II. K. F.		2.05	1.35	0.84	2.52	1.56	1.53	IV		meanderező, egyágú		
D-III	185-0							2.20	IV		erősen meanderező, egyágú	Schwarz (2007, 2019)
	2006							1.50	IV		meanderező, egyágú	
Križnica	173-166							1.07	II		kanyargó, egyágú	Bognar (2008)
	1842		3.54	3.32	1.35	1.86	3.32	1.68	IV		meanderező, egyágú	
	1886		3.62	2.15	1.62	0.90	2.46	1.24	III		kanyargó, egyágú	
	1886		3.58	2.88	1.18	1.56	2.88	1.69	IV		meanderező, egyágú	
	1886		3.47	2.20	1.70	1.34	2.61	1.58	IV		meanderező, egyágú	
Križnica (holtágak)	154-0							1.19	III	0.38	kanyargó, egyágú	Andrási (2015)
	1882							1.19	III	0.60	kanyargó, egyágú	Andrási (2015)
	1968							1.19	III	0.49	kanyargó, egyágú	Andrási (2015)
	1979							1.20	III	0.42	kanyargó, egyágú	Andrási (2015)

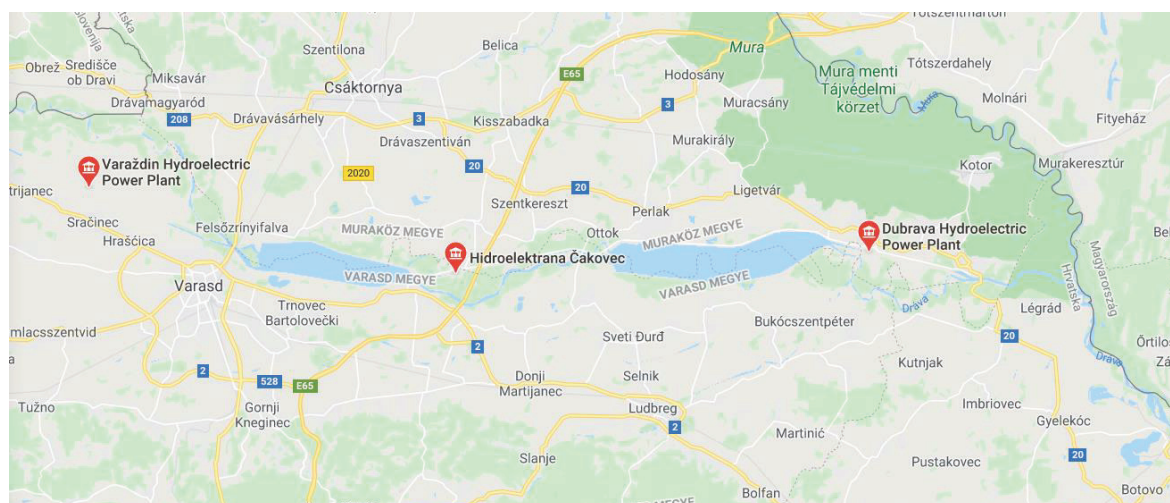
## 7 A horvátországi vízlépcsők hatásának vizsgálata

A Dráva vízenergia szempontjából igen jól kihasznált folyó (Hudek et al. 2020). A Dráván már az 1930-as években megkezdődtek vízerőmű létesítések, melyek kezdetben az árvízi veszély mértékének csökkentését szolgálták. Jelenleg összesen 22 vízerőmű található a teljes folyószakaszon. Ezen erőművek mindegyike a Mura torkolata felett helyezkedik el, tehát a folyó vízenergia tekintetében történő hasznosítása a Mura alatti szakaszra nem vonatkozik. Az erőművek fele (11 db) Ausztriában található, 8 épült Szlovéniában, míg a mai Horvátország területén 3 létesült. Az egyes vízlépcsők Dráva menti helyzetét a 42. ábra mutatja. Az első jelentős, Ausztriában található erőmű kivételével (mely nagynyomású, oldalsó alagutas vízerőtelep) mindegyik létesítmény folyóvízi erőmű. A víz jelentős részét folyamatosan átengedik a turbinákon, de nagy mennyiségű vizet tartanak vissza a fogyasztási csúcsidőre is. Az erőművek összefüggő láncot alkotnak, duzzasztásuk az előző lépcsőig ér. A folyó teljes lépcsőzött hosszán összehangoltan dolgoznak együtt az árvízvédelemben és a csúcsidei többlettermelésben.



42. ábra: Vízerőművek a Dráván (Andrási 2015)

A tanulmányban vizsgált Dráva-szakaszon a horvátországi vízlépcsők hatásai érvényesülhetnek. A három horvát vízlépcső (Varasd, Čakovec és Donja Dubrava) áttekintő helyszínrajza a következő ábrán (43. ábra) látható:



43. ábra: A horvátországi vízlépcsők elhelyezkedése



## 7.1 A vízlépcsők legfontosabb jellemzői

Horvátország a villamos energiájának 51%-át a vízenergia hasznosításából nyeri (Schmidt 2007) – a Dráván létesített 3 vízerőmű a 26 horvátországi vízerőmű által megtermelt energia közel 12%-át adja (HEP 2020). Schmidt (2007) szerint a folyók lépcsőzését végig kell vinni a torkolatig, mert így, és csak így kerülhető el a partok pusztulása, zátonyok keletkezése és a meder mélyülése, a talajvíz süllyedése. A Dráva alsó szakaszán a vízlépcsők létesítésére meghíúsult törekvések következtében ezen káros folyamatok megfigyelhetők (Schmidt 2007).

Ebben a fejezetben a három horvát vízlépcső legfontosabb tulajdonságai (pl. a tározótér térfogata, hasznosítható vízszint-különbség, üzembe helyezés időpontja) kerülnek bemutatásra. A három horvátországi vízerőmű legfontosabb jellemzőit az 10. táblázat foglalja össze.

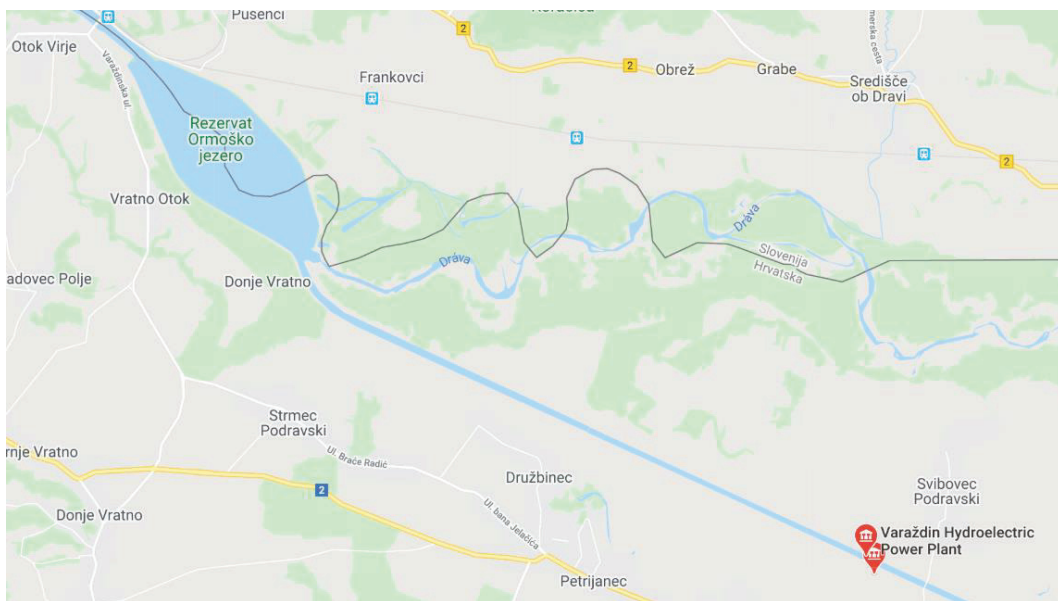
10. táblázat: A horvát vízerőművek legfontosabb jellemzői (Schmidt 2007)

A vízerőmű	Varasd (Varasd)	Čakovec (Csáktornya)	Donja Dubrava (Alsódomború)
Helye (fkm)	312.60 - 241.85		
Üzembe helyezése	1975	1982	1989
Víznyelés (m <sup>3</sup> /s)	450	500	500
Esés (m)	22	18	17
Teljesítmény (MW)	86	77	76
Átlagos évi energia (GWh)	476	400	385
Tározótérfogat (M m <sup>3</sup> )	3.0	10.5	16.6
Duzzasztókapu (db)	6	4	4
Turbinák száma és típusa	2 db Kaplan, 1 db csőturbina	1 db Kaplan, 3 db csőturbina	2 db Kaplan, 3 db csőturbina

Mindhárom horvát létesítmény síkvidéki oldalcsatornás vízerőmű. Síkvidéken a régi mederből oldalsó üzemvízcsatornába terelt vízű (derivációs, bypass) vízerőművek előnyösebbek a mederbélieknél. Egy vízerőmű gátjának az élő folyó medrében való megépítése a keresztmetszetnek két-háromszori szakaszos elzárása útján lassú, drága eljárás. Mindemelllett kockázatos is, hiszen egy árvíz óriási károkat okozhat. A duzzasztógát és a gépház helyileg elkülönül. Duzzasztásra, a régi meder elzárására, a víznek a csatornába telerésére a csatorna bejárata mellett csap körül mozgatható többmezős, ívelt, acél szegmens gát szolgál. A régi mederbe hatósági előírás alapján kell az ökológiailag szükséges vizet engedni, hogy megőrizhesse élővíz jellegét. Maga az erőmű az üzemvízcsatornában, a kijárata közelében van. Ez egy az oldalán és a fenekén gondosan szigetelt, kétoldalt szivárgócsatornákkal kísért egyenes árok, úgy építve, hogy a felvív szükségképpen megemelt töltése ne legyen túl magasan a terepszint felett, s az alvizet se kelljen durván lemélyíteni. Az erőmű gépházánál a tó és az áthidaló ág teljes esése koncentrálódik. Előnye, hogy a felvív- és alvív-csatorna még szárazon megépíthető. Az oldalcsatornás vízerőművek létesítésekor jellemzően egy nagyobb tározótér is kialakításra kerül, ami lehetővé teszi az energia tárolását, a termelés súlypont-áthelyezését (vagyis az energiaszükséglet alapján alakítható a termelés), valamint tartalékot is képez üzemzavar esetére. Külön megjegyzendő, hogy a vizsgált vízlépcsők tervezésekor a tervezők nem fordítottak gondot a létesítmények természetközeli tájba illesztésére. (Schmidt 2007 alapján)

### 7.1.1 A varasdi vízerőmű

A varasdi vízerőmű Horvátország északnyugati részén helyezkedik el a Dráván. Az erőmű többfunkciós, a Drávát mintegy 28,5 km hosszon hasznosítja. Árvíz- és erózióvédelmet biztosít a földműveléssel hasznosított területek, illetve a környező települések számára. Mindemellett a vízellátási feladatok, és a talaj túlzott nedvességtartalmának elvezetését is lehetővé teszi, valamint lehetőséget ad a Dráva-völgy gravitációs vízvezetésére illetve annak öntözésére is. A telepített terminálok az átlagos teljesítmény 86 MW, ez valamivel a tervezett teljesítmény alatt van. A telep lehetséges éves teljesítménye 476 GWh. Az erőművet 1975-ben helyezték üzembe, és a folyó természetes lefolyásának megfelelően működik. 1975-ben két Kaplan-, majd egy évvel később, 1976-ban egy csőturbina is üzembe helyezésre került. Az erőműben a maximális nyomásmagasság 21,9 méter. Aránylag kicsi tározótava Ormož (Ormosd) szlovén határvárosnál kerül el. Teljes tározótava 8 millió m<sup>3</sup>, a tározó vízfelszíne 3 km<sup>2</sup> – ezzel a három közül ez a legkisebb méretű tározó. A maximális vízszintmagasság a tározóban 191,00 mBf. A duzzasztási hossz 14,6 km. A varasdi erőmű egy hosszú, egyenes szakaszon helyezkedik el (44. ábra).



44. ábra: A varasdi erőmű és tározója, az Ormoško-tó

### 7.1.2 A čakoveci vízerőmű

A čakoveci vízerőmű Horvátország első csőturbinás vízerőműve. Az ilyen típusú létesítményben a generátor burkolatát körülöleli az áramló víz. A varasdi vízerőműhöz hasonlóan ez is egy többfunkciós létesítmény. A folyó energiájának hasznosítása mellett árvíz- és erózióvédelmet is biztosít, javítja a vízvezetést, a vízellátást, valamint a víziúti forgalmat is. Az erőmű tározója a Varaždin-tó, amely turisztikai szempontból is fontos pontja Horvátországnak, valamint szabadidős és sportolási tevékenységek végzésére is lehetőséget nyújt. A teljes tározótér 51 millió m<sup>3</sup>, ez egy léptékkal nagyobb, mint a Dráván valamivel feljebb található varasdi erőmű által hasznosított tározótér. A tározó vízfelülete 10,5 km<sup>2</sup>. A maximális vízszintmagasság a tározóban 168,00 mBf. A duzzasztási hossz 8,5 km. Az erőműben 4 turbina található, melyek közül a három csőturbinát 1982-ben helyezték üzembe. Egy évvel később, 1983-ban egy Kaplan típusú turbina került üzembe helyezésre. A turbinák névleges teljesítménye 21 MW, az erőmű teljes kapacitása hozzávetőlegesen 84 MW, de az átlagos teljesítmény csak 76 MW. A lehetséges éves átlagos teljesítmény 400 GWh. Az erőműben lehetséges nyomásmagasság 17,5 m. A vízlépcső elhelyezkedése az alábbi ábrán (45. ábra) látható:



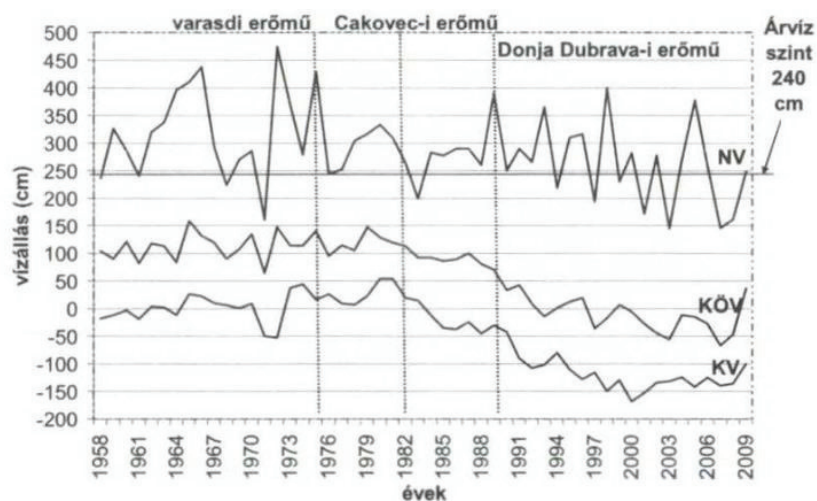
## 7.2 A vízlépcsők vízjárásra kifejtett hatása

A duzzasztók hatására bekövetkező leginkább érezhető változás a folyók vízjárásában következik be. A nagyobb tározóterek a vízjárást egységesebbé teszik, az alvízi szakaszon jellemzővé válik az árvizek mérséklődése és a kisvizek szintjének növekedése. Mindemellett a kisebb tározók képtelenek kiegyenlíteni a klímaváltozás hatásait, így a nagy árvizek minimális módosulással átjutnak rajtuk, míg a kisvízi időszakban alig jut víz a gátak alá, ami azt jelenti, hogy szélsőségesebbé válik a vízjárás.

Egy, a Szegedi Tudományegyetemen készült tanulmány (Kiss és András 2011) a horvátországi duzzasztógáták hatását vizsgálta a Dráva víz- illetve hordalékjárására vonatkozóan. A tanulmányban a vízállás változásait elemezték a Donja Dubrava-i vízlépcső alatt 5-10 fkm-rel, Őrtilosnál található vízmérce reggeli adatai alapján, az 1958-2009 közötti időszakra vonatkozóan. Meghatározásra került az éves nagyvíz, középvíz és kisvíz is, valamint készítették árvízgyakorisági és vízállás-tartóssági görbéket is. Az erőművek üzembe helyezése előtti és utáni időszakok adatsorainak összehasonlítása alapján következtetéseket vontak le az erőművek vízjárásra gyakorolt hatásairól.

### 7.2.1 A vízállásban bekövetkezett változások

Kiss és András (2011) az őrtilosi vízállás-idősorokat a vízerőművek üzembe helyezése alapján három szakaszra osztotta (47. ábra). Látható, hogy a varasdi erőmű megépítését (1975) követően először csökkent a kisvizek szintje, majd emelkedni kezdett. A čakoveci és a Donja Dubrava-i erőművek építése után már jelentősen csökkenő tendenciát érzekeltek a kisvizek szintjét illetően, az átlagos KV 3 cm volt. Az egyes erőművek hatása főként az üzembe helyezést követő első két évben volt látványos. Ezen időszak alatt mindhárom jellemző vízállás értéke csökkent, amely feltehetőleg a tározók feltöltődésének következménye. Az éves közepes vízszintek 105 cm-es átlagot mutattak, egyenletesebbé váltak, ám a čakoveci erőmű építése után ezek is elkezdtek csökkenni. A nagyvizek szintjében (átlagos NV: 296 cm) szintén csökkenés figyelhető meg. Az 1989-2009 közötti időszakban már mindhárom paraméterben megjelentek az erőművek összegzett hatásai. Ebben az időszakban jellemző átlagértékek a következők: KV: -121 cm, KÖV: -10 cm. Ezek folyamatosan, az előző időszakhoz képest jelentősen csökkenő tendenciát mutattak. A kisvizek átlagosan 118 cm-rel csökkentek, a középvizet 115 cm-rel csökkentek. A nagyvizek szintje is csökkent, eltekintve néhány csapadékosabb időszaktól (átlagos NV: 259 cm). A nagyvizekre az egyre gyakoribb szélsőséges értékek is jellemzővé váltak.



47. ábra: A kis-, közép- és nagyvízszintek alakulása Őrtilosnál 1958-2009 között (Kiss és András 2011)



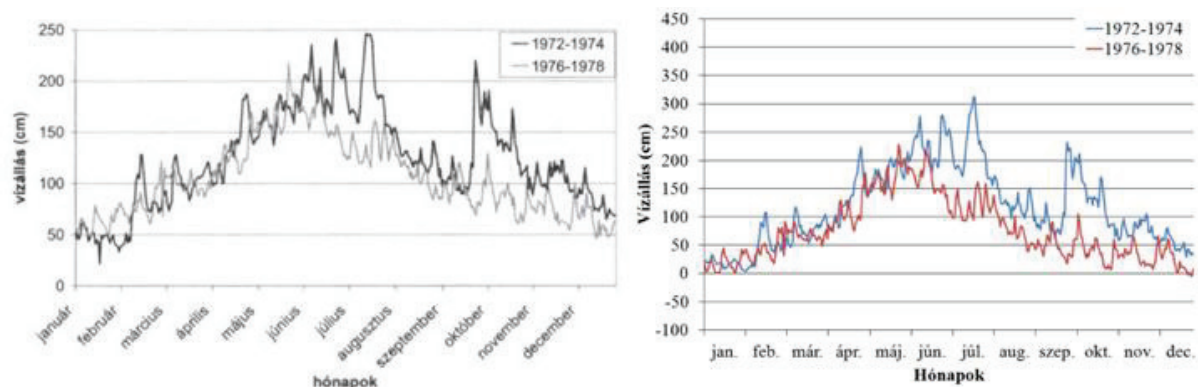
Az egyre gyakrabban előforduló szélsőséges értékekre a lehetséges magyarázat, hogy a Donja Dubrava-i erőmű megépítésével megnőtt a teljes tározott víz mennyisége, emellett a vízfelhasználás is nöhetett, aminek következtében kevesebb víz jut a vízerőmű alá. A 47. ábra görbéiből jól látható, hogy az erőművek üzembehelyezése előtti időszak kisvizei hasonló tartományokban mozogtak, mint az üzembe helyezések utáni időszak közepes vízállásai. (Kiss és Andrási 2011)

Andrási (2015) is kitér a Horvátországban üzembehelyezett erőművek vízjárásra gyakorolt hatásaira. Az 1979-2007 közötti időszakban a Dráva hidrológiájára további jelentős hatást gyakorolt a legelső két horvát vízerőmű. Az 1982-1989 közötti években a čakoveci vízerőmű (1982) üzembe lépése után jelentkezett a legmarkánsabb vízszintsüllyedés, -53 cm, ami legfőképp a kisvizet jellemezte. A vízszint jelentős alászállását mutatja az is, hogy ebben az időszakban a közepes vizek szintje alacsonyabbá vált, mint a kisvizek 1918 előtt. A Donja Dubrava-i vízerőmű felépülése (1989) után pedig, az 1990-2014 időszakban, a kisvizek az 1918 előtti „vízerőműmentes” évekhez képest 268 cm-rel, a közepes vízállások 250 cm-rel, míg a nagyvizek 199 cm-rel lettek alacsonyabbak. Sőt, míg az 1918 előtti időszakban csupán egy évben (1909-ben) volt alacsonyabb a kisvizek szintje 100 cm-nél, addig 1990 után ezt a vízállást már egyszer sem haladták meg a közepes vízszintek. A nagyvizek szintje is tovább csökkent a čakoveci erőmű üzembe helyezését követően, amely folytatódott a Donja Dubrava-i létesítmény felépülés után is. Az 1982 és 2014 közötti időszakban csupán négy évben fordult elő árvíz és az árvizek átlagos visszatérési ideje is 4,5-15 évre növekedett. A vízhozamok is egyre egyenletesebbé váltak és ezzel párhuzamosan mind a vízállás, mind pedig a vízhozam tartósság görbéi is lefelé tolódtak. A vízállás-tartósságok alakulása is jelentős változásokat mutat, hiszen az 1918-1989 közötti időszakban 0 cm alatt csak ritkán, 1-2%-ban mozgott a vízállás, míg 1990-1999 között ez az arány 58%-ra nőtt, 2000 után pedig már a 70%-ot is megközelítette. A nagyvizet is hasonló tendencia jellemezte, ugyanis a 420 cm-t meghaladó vízszintek tartóssága 1918 előtt még 5,6% volt, és ahogy folyamatosan épültek a vízerőművek, úgy váltak egyre ritkábbá a magasabb vízszintek. A čakoveci erőmű megépítése után ugyan nem jelentős mértékben, de tovább növekedtek a vízállásokhoz tartozó vízhozamok, ami azt mutatja, hogy a vízszintek csökkenésében nem csak a vízvisszatartás, hanem a bevágódás is szerepet játszott. A vizsgált szakaszhoz a čakoveci vízerőmű 24 km-rel közelebb van, mint a korábban megépített varasdi, így a csúcsrajáratása már markánsabb - 20-30 cm-rel nagyobb - napi vízszintingadozást generált, hiszen Őrtilosnál 73 cm-re, míg Barcsnál 63 cm-re emelkedett a napi vízszintingás. A Donja Dubrava-i vízerőmű üzembe lépését követően – amely Őrtilostól csupán 12 km-re helyezkedik el –, a napi mini árhullámok is erőteljesebben jelentkeztek. Őrtilosnál az átlagos napi vízjáték 77 cm-rel nőtt, míg a folyásirányban 82 km-rel lejjebb található barcsi vízmércén 30 cm-rel.

Az időjárási szélsőségeket jól mutatja, hogy 2014-ben egy igen magas (507 cm) árvíz volt vonult le a Dráván, amelyhez hasonló utoljára 1975-ben (579 cm) fordult elő. Andrási (2015) szerint a Dráván végbement vízszintsüllyedés magyarázható a vízerőművek vízjárást szabályozó hatásával, a klimatikus tényezők megváltozásával (ld. Kiss és Blanka (2012) tanulmánya a Hernád mederváltozásairól), illetve a meder bevágódásával.

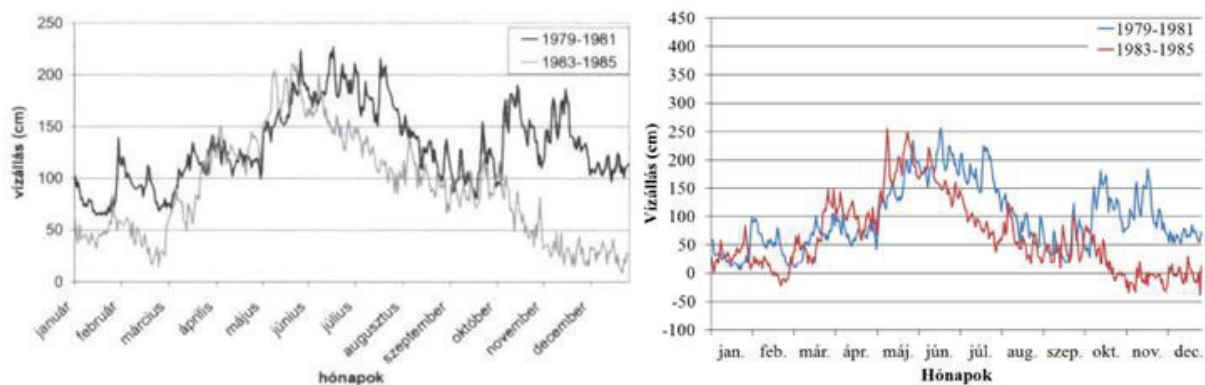
Az egyes vízerőművek vízjárásra gyakorolt hatásának vizsgálatához Kiss és Andrási (2011), illetve Andrási (2015) összevetette az üzembe helyezésük előtti és az azt követő 3 év napi átlagvízállások alapján megszerkesztett átlagos vízállás görbéket Őrtilosnál és Barcsnál. Ezzel láthatóvá tették vízállás évi menetében bekövetkezett változásokat. Az 1975-ben üzembe helyezett, az Őrtilostól 67 fkm-re lévő varasdi erőmű hatására a vízjárás májusig alig változott viszont a januári-februári vízállások megemelkedtek. A nyár elejétől hamarabb kezdtek csökkeni a vízállások, ahogy az az alábbi ábrán (48. ábra) látható. A nyári átlagos vízállás 173 cm-ről 136 cm-re mérséklődött. Az őszi vízállásokban is jól megfigyelhetőek voltak az eltérések. A mediterrán hatásra az októberben és novemberben kialakult nagyvízes időszak gyakorlatilag eltűnt, és az őszi átlagvízszint 124 cm-ről 84 cm-re süllyedt. Az éves

vízállások szélsőségei csökkentek, mérséklődtek a nagyvízi maximumok, ami együttesen jól mutatja a víztározás hatását. A barcsi vízmérce adatai alapján Andrási (2015) hasonló megfigyeléseket tett (48. ábra).



48. ábra: Az 1975-ben üzembe helyezett varasdi vízlépcső vízállásra gyakorolt hatása az őrtilos (balra; Kiss és Andrási 2011) és a barcsi (jobbra; Andrási 2015) vízmércék adatai alapján

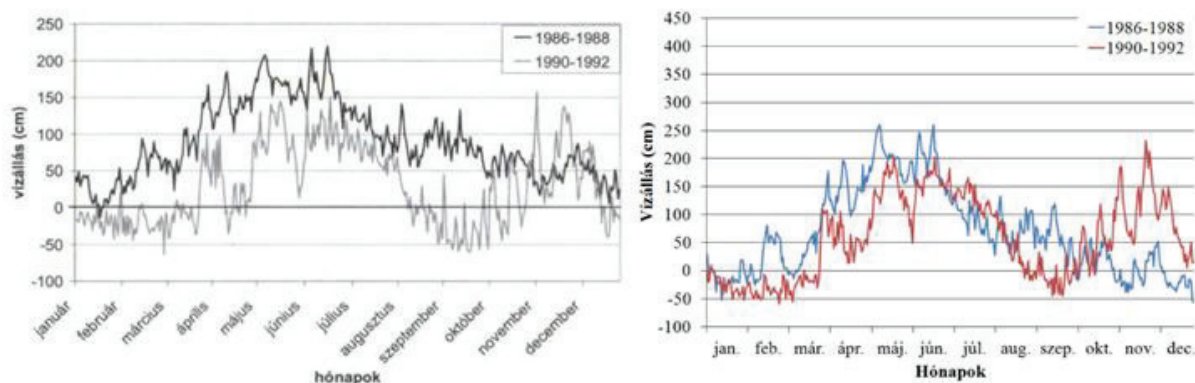
Az Őrtilostól 42 fkm-re található čakoveci vízerőművet 1982-ben helyezték üzembe, így a két vízerőmű vízjárásra gyakorolt hatása összegződött. A vízállásgörbék (49. ábra) szerint az év nagy részében tovább csökkentek a vízállások. Bár tavasszal és nyár elején kisebb árhullámok vonultak le, ezek egyike sem érte el a 240 cm-es árvízszintet, vagyis az ártérre nem léptek ki. Nyár elejétől drasztikusan csökkentek a vízállások, bár ezt az őszi csapadék-maximum némileg mérsékelte. A nyári átlagos vízszint 168 cm-ről 127 cm-re, az őszi átlagok 133 cm-ről 65 cm-re, a téli pedig 95 cm-ről 37 cm-re csökkentek. A barcsi vízmérce adatai alapján Andrási (2015) hasonló megfigyeléseket tett (49. ábra).



49. ábra: Az 1982-ben üzembe helyezett čakoveci vízlépcső vízállásra gyakorolt hatása az őrtilos (balra; Kiss és Andrási 2011) és a barcsi (jobbra; Andrási 2015) vízmércék adatai alapján

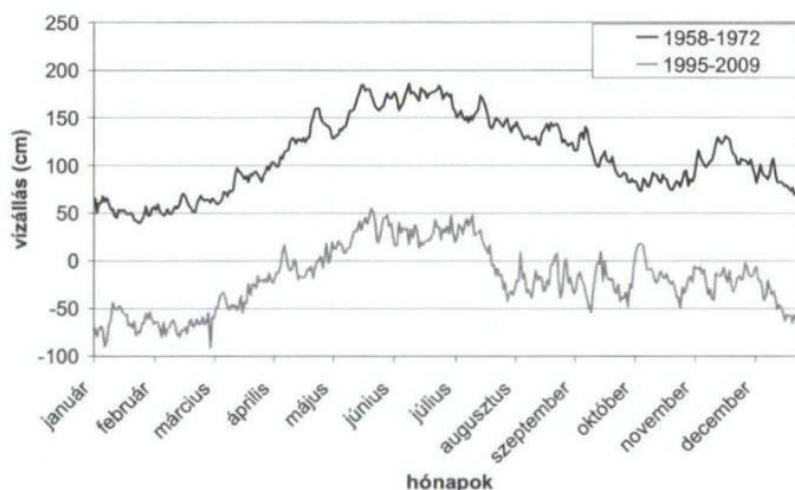
A legutoljára megépült Donja Dubrava-i vízerőmű Őrtilostól csupán 18 fkm-re helyezkedik el. Ez és a három tározó immár együttes hatása magyarázza, hogy a megépülése után a görbék lejjebb tolódtak, mint a korábbiak (50. ábra). A vízszintek csökkenése az év elejétől csaknem folyamatos, a nyári és őszi nagyvizek is csaknem eltűntek. Míg korábban csak januárban fordult elő 0 cm alatti vízállás, 1989 után meglehetősen gyakorivá vált, minden évszakban megjelent. A tavasi átlagos vízállás 132 cm-ről 41 cm-re, a nyári 121 cm-ről 60 cm-re, az őszi 64 cm-ről 14 cm-re, a téli pedig 40 cm-ről -5 cm-re csökkent. A barcsi vízmérce adatai alapján Andrási (2015) hasonló megfigyeléseket tett (50. ábra).





50. ábra: Az 1989-ben üzembe helyezett Donja Dubrava-i vízlépcső vízállásra gyakorolt hatása az őrtilosi (balra; Kiss és Andrási 2011) és a barcsi (jobbra; Andrási 2015) vízmércék adatai alapján

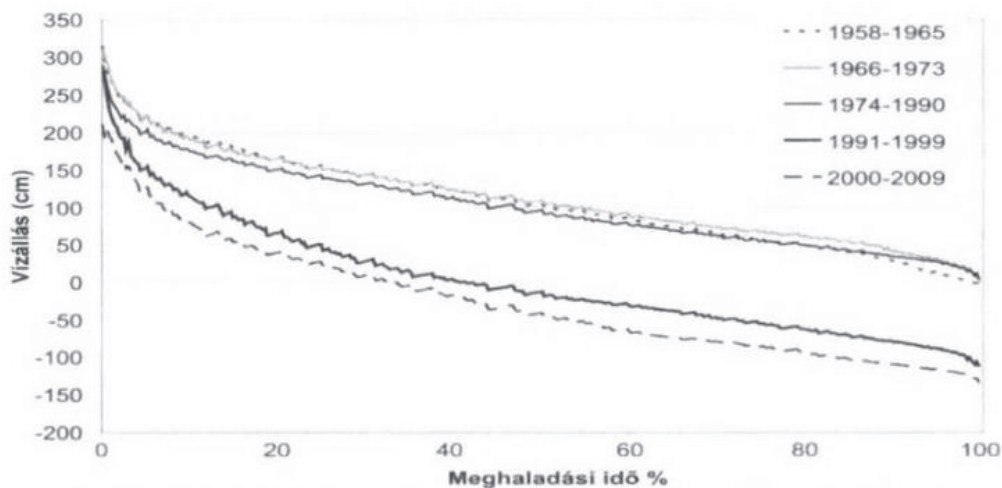
Kiss és Andrási (2011) összevetették a kiinduló és a végállapot vízjárásait is Órtilosnál (51. ábra). Ehhez a vizsgált időszak első és utolsó 15 éves időszakának átlag-vízállásait hasonlították össze egymással. Az első (1958-1972) időszakban a horvátországi Dráva szakasz „vízerőműmentes” volt, míg az ezt követő időszakban (1995-2009), már három vízerőmű módosította a vízjárást. Az első időszakban a vízállások átlagosan körülbelül 100 cm-rel voltak magasabbak, mint 1995-2009 között. A vízszintcsökkenés a tározók jelentős vízvisszatartó kapacitásából adódik. Nyár közepéig a két időszakban hasonló volt a görbék lefutása, azaz télen alacsonyabb szintek voltak jellemzőek, majd tavasszal folyamatosan elkezdtek emelkedni. Az 1995-2009-es időszakban a kora nyári magasabb vízállással jellemezhető időszak hossza jelentősen lerövidült. Már július elejétől jóval kisebb vízszintek váltak jellemzővé. Minden évszakban csökkent az átlagos vízállás: tavasszal 122 cm-ről -6 cm-re, nyáron 154 cm-ről 8 cm-re, ősszel 101 cm-ről, -20 cm-re; télen pedig 66 cm-ről -57 cm-re. Ezek alapján elmondható, hogy 1995-2009 között átlagosan 130 cm-rel csökkent a vízszint a magyarországi szakaszon a horvátországi erőművek üzembe helyezése előtti időszakhoz képest.



51. ábra: Az erőművek megépítése előtti (1958-1972) és utáni (1995-2009) időszak átlagos évi vízállás-idősorai Órtilosnál (Kiss és Andrási 2011)

## 7.2.2 Változások a vízállás-tartósságban

Kiss és András (2011) a vízállás-tartósságot öt különböző időszakban vizsgálták tanulmányukban Őrtilosnál (52. ábra). A horvát vízerőművek üzembe helyezését egy időszakként vették (1974-1990), az előtte és utána lévő időszakokat pedig két-két részre osztották. Az 1958-1965, 1966-1973 és az 1974-1990-es időszakok vízállás-tartóssági görbéi közel azonos képet mutatnak. Az első két időszak görbéi csaknem egyformák, az 1958-1965-ös időszakban a kisvizek tartóssága kisebb volt, az 1966-1973-as görbe szerint a kisebb vízállások valamelyest ritkábbá váltak. Az igazán szembeeső változást az 1991-1999 és 2000-2009 közötti időszakok görbéi mutatják. Ezek homorúbbak, illetve lejjebb is tolódtak. A Donja Dubrava-i vízerőmű üzembe helyezése előtt a vízállások 50%-a volt 100 cm alatti, míg 1991-1999 között már a vízállások 75%-a, 2000 óta pedig közel 85%-uk esett 100 cm alá. Ezáltal jól látható a kisvizek tartósságának növekedése. Ha a szélső értékeket vesszük szemügyre, akkor jól látható, hogy az első három időszakban 0 cm alatt csak nagyon ritkán, 1-2%-ban voltak a vízszintek, míg az 1991-1999 közötti periódusra ez 58%-ra nőtt. Az utolsó időszakban már a 70%-ot is megközelítette. A nagyvizekre is hasonló tendencia a jellemző, vagyis egyre csökkent a gyakoriságuk és a tartósságuk. Ezen adatok alapján leginkább a kis- és közepes vízállások gyakorisága nőtt drasztikusan, azaz csökkentek a vízszintek és tartósabbá is váltak.

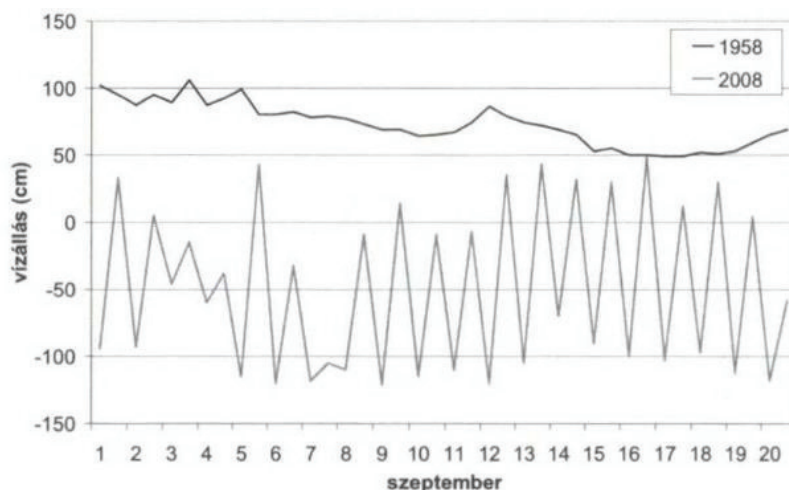


52. ábra: A vízállás-tartósságok alakulása Őrtilosnál 1958-2009 között (Kiss és András (2011))

## 7.2.3 A vízszintek napi ingadozása 1958-ban és 2008-ban

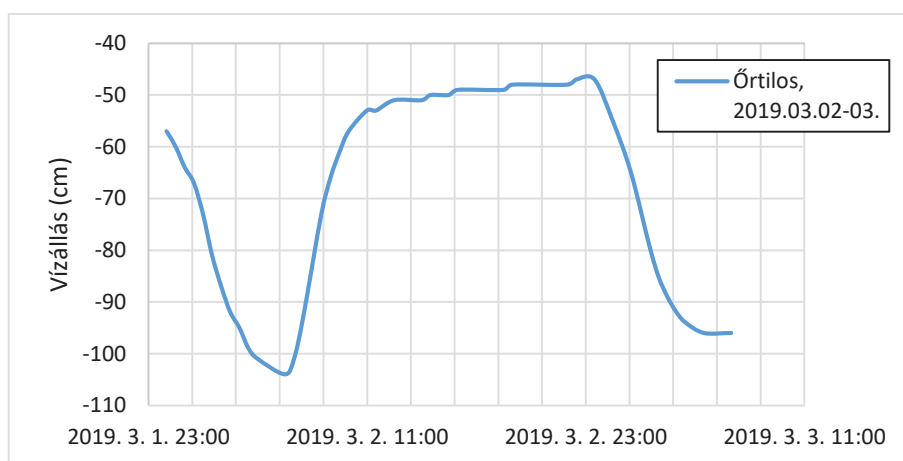
Kiss és András (2011) tanulmánya rávilágít arra, hogy a vízjárás éves jellemzői jelentősen megváltoztak Őrtilosnál a vízerőművek üzembe helyezése kapcsán. Azonban a működtetésük a napi vízjárást is jelentősen módosítja. Ennek bemutatásához egy kisvizes adatsort, 1958 és 2008 szeptemberének 3 hetét vetették össze a szerzők, melynek eredményét az 53. ábra mutatja be. Itt nem a vízállás szintjének csökkenése a lényeg, hanem az, hogy természetes állapotban alig volt eltérés a napi vízállás adatok között. Napjainkban a Donja Dubrava-i erőmű napi 100-150 cm magas kis árhullámokat generál Őrtilosnál a reggeli és esti vízállások alapján. Míg 1958-ban alig pár centiméteres napi vízállásváltozás volt jellemző, addig manapság már több mint 1 méteres (a legnagyobb 163 cm volt). Ez a Duna-Dráva Nemzeti Park élővilágára is negatív hatással lehet, hiszen a folyamatos és gyors vízszintváltozáshoz az

élőlények nem, vagy csak nehezen tudnak alkalmazkodni. Ugyanakkor ezek a „mini-árhullámok” nagyobb energiát képviselnek, így a Dráva hordalékszállító-képességet jelentősen módosíthatják, és mederpáncélzat kialakuláshoz vezethetnek.

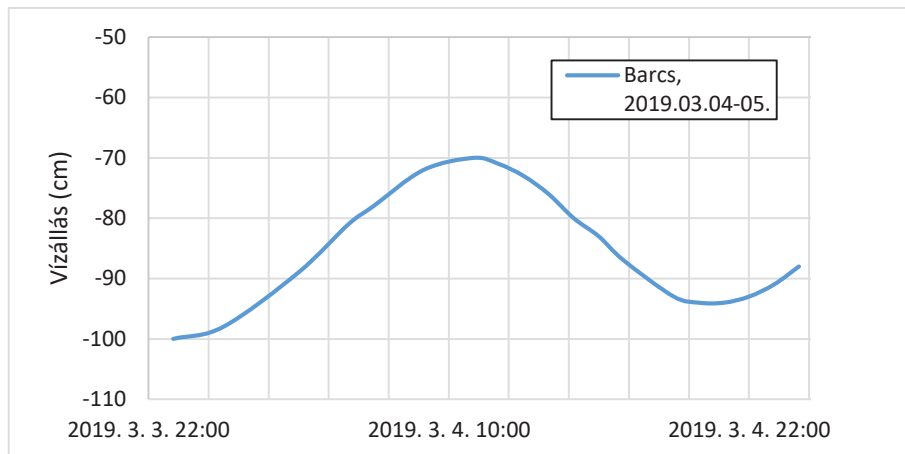


53. ábra: A szeptemberi vízjárás alakulása Órtilosnál 1958-ban és 2008-ban (Kiss és András 2011)

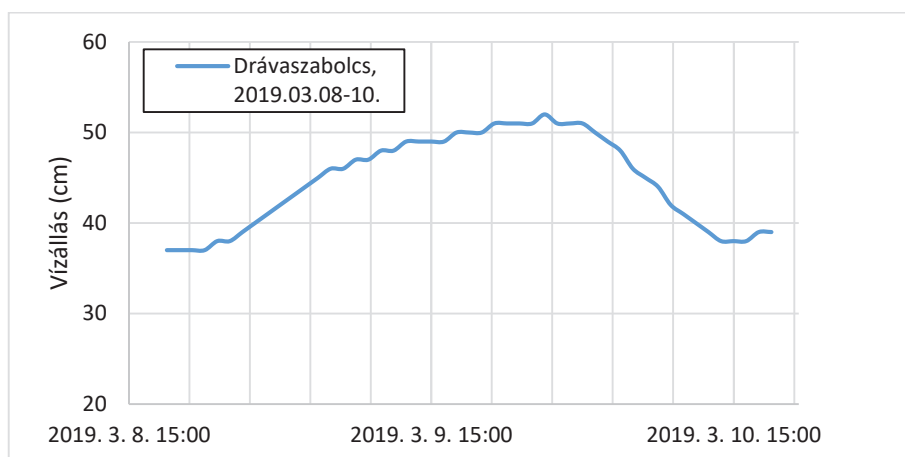
Burián és Domány (2019) tanulmányukban kitérnek a napi vízszint-ingadozásra (54. ábra-56. ábra). A DDVIZIG munkatársai megvizsgálták, hogy mekkora mértékben változott a vízállás ingadozása az erőművek által nem módosított időszakhoz képest. Összességében elmondható, hogy minél közelebb helyezkednek el a vízmércék az erőművekhez, annál inkább érezhető az erőművek hatása. Az üzemmenetből adódó hatások tehát a közelben intenzívebben érezhetőek, míg az erőműtől távolodva ez az intenzitás egyre csekélyebb mértékben érezhető.



54. ábra: A napi vízszint-ingadozás az órtilosi vízmérce adatai alapján 2019 márciusában (Burián és Domány 2019 alapján saját szerkesztés)



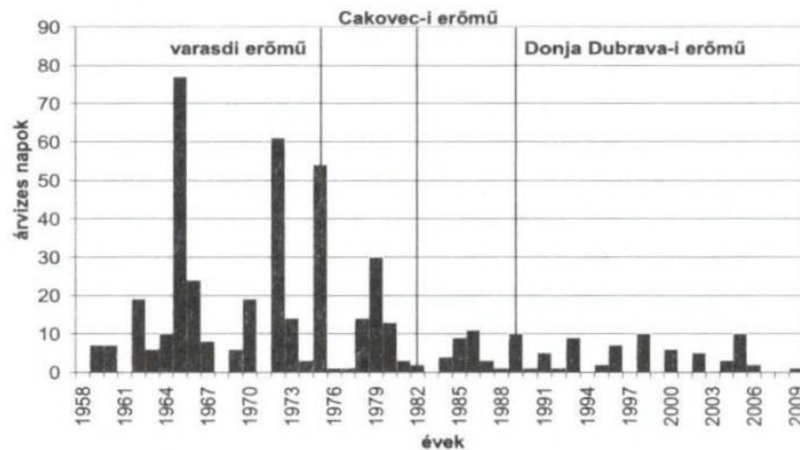
55. ábra: A napi vízszint-ingadozás a barcsi vízmérce adatai alapján 2019 márciusában (Burián és Domány 2019 alapján saját szerkesztés)



56. ábra: A napi vízszint-ingadozás a drávaszabolcsi vízmérce adatai alapján 2019 márciusában (Burián és Domány 2019)

#### 7.2.4 Az árvizek gyakoriságának változása

Kiss és Andrási (2011) tanulmánya szerint az őrtilosi szelvényben a 240 cm-t meghaladó vízszint már árvíznek számít. A varasdi erőmű üzembe állása előtti időszakban (1958-1975), közel kétszer annyi árvizes nap (összesen 315) volt, mint az azóta eltelt 34 évben (164 nap). Az is jól láthatóvá vált (57. ábra), hogy egyre rövidebb árvizek vonultak le a Dráván, hiszen míg korábban előfordult 55 napos árvíz is (1965), addig a vizsgált időszak utolsó éveiben a leghosszabb árvíz csupán 5 napig tartott (2005). Általában a vízerőművek üzembe lépése utáni 1-2 évben alig 1-2 árvizes nap fordult elő, mivel ezek az évek voltak azok, amikor feltöltötték a tározótereket. Az 1975-1982 közötti időszakban még viszonylag jelentős számú, átlagosan 15 árvizes nap volt évente. Ezek az adatok jól mutatják a vízerőművek vízjárás kiegyenlítő hatását. Az árvizek ilyen mértékű elmaradása jelzi az árterületeken található közösségek megváltozott életfeltételeit és előre vetíti átalakulásukat.



57. ábra: Az árvízes napok gyakoriságának alakulása Örtilosnál 1958-2009 között (Kiss és András 2011)

### 7.3 A vízlépcsők hordalékvízjárásra kifejtett hatása

A duzzasztógáták mögötti víztározók a hordalékot nagymértékben csapdázzák, illetve jelentősen módosíthatják a vízjárást. Kiss és András (2011) tanulmánya szerint a vízerőművek a vízjárás módosításán túl hatással vannak a hordalék szemnagyságára is, ugyanis a nagyobb szemek csapdáznak a tározókban, bár a Mura hatására a torkolat alatt a durva hordalék egy része pótlódik.

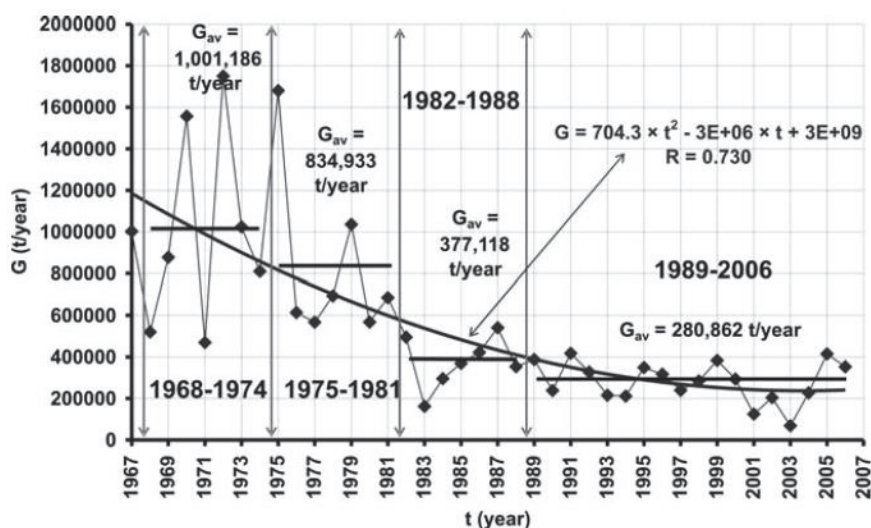
A Dráva természetes körülmények között jelentékeny hordalékszállítással jellemezhető, ezt jelentősen befolyásolják az épített vízerőművek. A tározók feltöltődése abból adódik, hogy mivel lecsökken a víz sebessége, ezért a felső szakasról érkező hordalék nem, vagy csak kis hányadban tud tovább szállítani a folyóban. A gát alatti szakaszon ezzel ellentétes folyamat játszódik le, vagyis kimélyül a meder. Ennek az erózióknak az oka, hogy a hordaléktól megszabadított folyó sebessége és energiája megnő, aminek hatására a meder erodálódni kezd, azaz mélyül (ld. 3.1.4. fejezet). A folyamat során a többletenergiával rendelkező vízfolyás először a finomabb anyagot mossa ki a mederből. A kimosódás hatására a durva szemcséjű hordalék kerül túlsúlyba, tehát az erőművek alatti folyó szakaszon a mederanyag durva szemösszetételű lesz és mederpáncél is kialakulhat. A folyó alsóbb szakaszán mechanikai elhasználódás és hidrodinamikai hatások következtében idővel helyreáll a hordalékjárás egyensúlya, és a vízfolyás gyengülő energiája miatt az alsóbb szakaszra már csak finomabb szemű hordalék juthat.

A VITUKI (2003) részletes vizsgálata szerint a mederkotrások és a vízerőművek is jelentős hatással vannak a Dráva hordalékviszonyaira. A vízerőművek által keltett mesterséges árhullámok folyamatosan kavics anyagot mosnak ki a mederből. A nagyobb szemnagyságú hordalék a meder alján marad, míg a kisebb frakciójú hordalék a fenéken tovább mozog, majd a folyó alsóbb szakaszán kiülepszik. Az esetlegesen kialakult mederpáncélzat nagyobb árhullámok esetén felszakadhat és az alatta elhelyezkedő hordalék kavicsos árként mozog az alsóbb folyószakaszok felé. Ezzel kvázi zátonyok keletkeznek a mederben, illetve az esetleges üregek feltöltődnek hatására. Az árvizek levonulása után újra megkezdődik a mederpáncélozódás folyamata.

### 7.3.1 A lebegtetett hordalékszállításban bekövetkezett változások bemutatása

A Dráva éves lebegtetett hordalékhozama jelenleg 0,5-2,5 Mt/év között ingadozik (BME 2019). A vizsgált szakaszon a lebegtetett hordalékhozam mennyiségére nagy hatással vannak a horvát vízlépcsők (különösen a Donja Dubrava-i), ahol a tározótérben a hordalék egy jelentős része kiüledik (VITUKI 2003). A Donja Dubrava-i vízlépcső üzembe helyezése után 2003-ig átlagosan 100 000 t/év-vel csökkent a lebegtetett hordalékszállítás (VITUKI 2003).

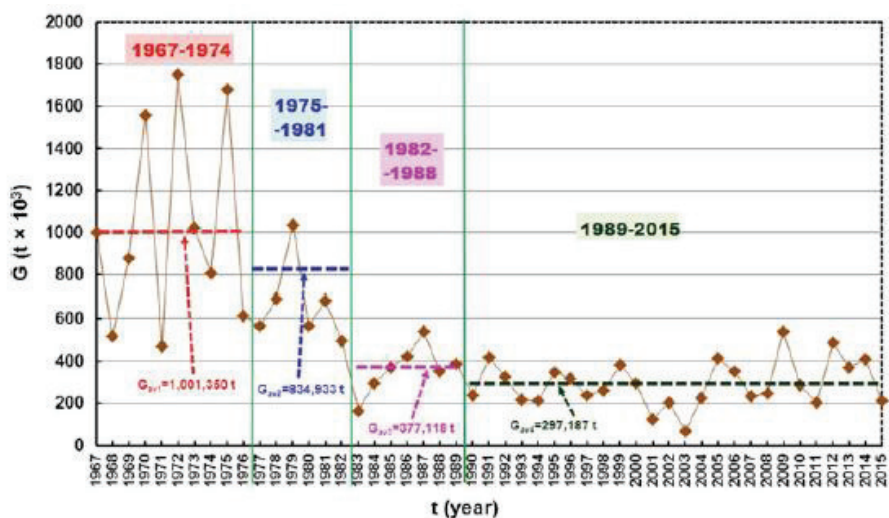
A lebegtetett hordalékszállításban bekövetkezett változások külön kiemelkednek az éves hordalékhozam-összegző görbén, ahol erőteljes esésváltozások észlelhetők az egyes erőművek üzembe helyezése után (58. ábra-60. ábra). Közvetlenül az erőmű működésének megkezdése után a hordalékhozam fokozatosan csökken, majd fokozatosan nő (Bonacci és Oskoruš 2010). Miután a folyó kialakítja az új egyensúlyi állapotát, erodálja a medrét és a partokat és a hordalékhozam egyensúlya is bekövetkezik, ami az enyhe, vagy a változások előttivel közel azonos esésekből sejtethető.



58. ábra: A varasdi erőmű hatása a Varasdnál mért lebegtetett hordalékmennyiségre 1967-2007 között (Bonacci és Oskoruš 2010)

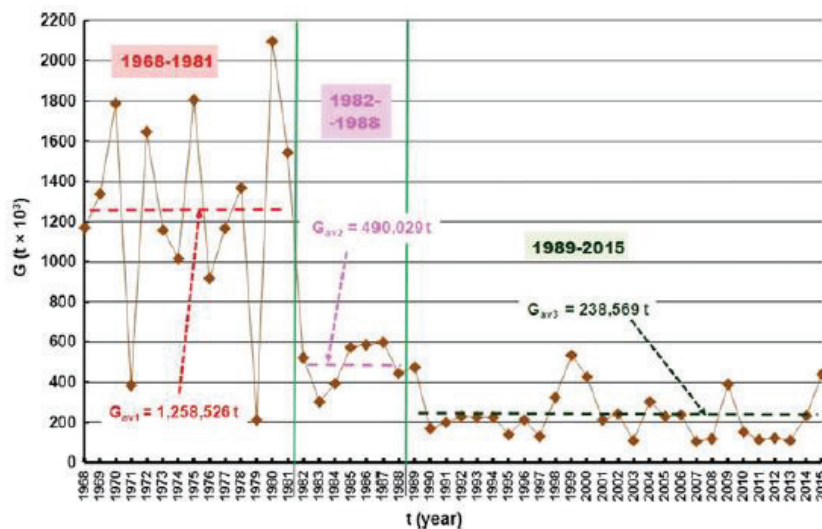
Botovonál a vízlépcsők felől érkező hordalékszegény vízhez jelentős lebegtetett hordalékhozam (a botovoi szelvényben mért teljes lebegtetett hordalékmennyiségnek kb. a fele) adódik a Murából, különösen olyan vízjárási helyzetekben, amikor a Mura árhulláma a Dráva kisvizével találkozik (VITUKI 2003, EJF 2012). A lebegtetett hordalékszállítás trendje hasonlóan alakul (59. ábra), mint a varasdi állomáson – a mért hordalékmennyiségben a legnagyobb csökkenés a čakoveci vízlépcső 1982-es üzembe helyezése után következett be, az utolsó, Donja Dubrava-i vízlépcső létesítése (1989) után azonban néhány év alatt új egyensúly állt be a Dráva hordalékjárásában (Bonacci és Oskoruš 2019).





59. ábra: A horvát erőművek hatása a Botovonál mért lebegtetett hordalékmenyiségre 1967-2015 között (Bonacci és Oskoruš 2019)

A rendelkezésre álló lebegtetett hordalékadatok elemzéséből látható, hogy a mederelzárások szelvényének közvetlen közelében nagyobb változások (58. ábra), míg az alvízi távolabbi mérőszelvényekben (pl. Donji Miholjacnál, 60. ábra) ezek a változások a hordalékjárásban jelentősen kisebb mértékűek.



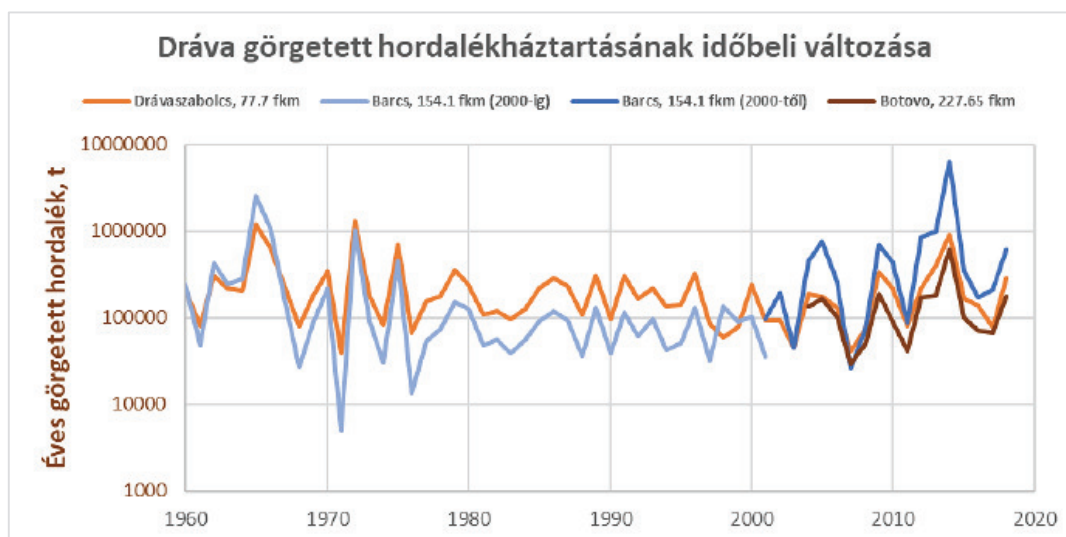
60. ábra: A Donja Dubrava-i erőmű hatása a Donji Miholjacnál mért lebegtetett hordalékmenyiségre 1968-2015 között (Bonacci és Oskoruš 2019)

A vízierőmű napi csúcsergia-termelésével járó napi vízhozam növekedések kisvízes időszakban nem befolyásolják számottevően a lebegtetett hordalék mennyiségét. Az árhullámok levezetésekor azonban több-kevesebb, korábban leülepedett hordalék mosódik ki a duzzasztott térből, megnövelve a lebegtetett hordalék nagyvizek idején amúgy is megnövekedett töménységét. Érdeemes megjegyezni, hogy az érintett szakaszon a keresztelvények folyamatos felmérése elmaradt, mely lehetővé tette volna a vízlépcsők hatására a hordalékjárásban és a medermorfológiában bekövetkezett változások vizsgálatát, elemzését.

### 7.3.2 A görgetett hordalékszállításban bekövetkezett változások bemutatása

A vízlépcsők hatására a felülről érkező, nagyrészt kavicsos anyagú görgetett hordalék gyakorlatilag teljes egészében csapdázódik a tározóterekben, miáltal az alvízre egy nagy energiájú, hordalékszegény víz jut tovább. A hordalékszallító kapacitásában keletkezett deficit pótlására a folyó a gát alatt saját medrét, illetve partjait kezdi kimosni, bevágódási folyamatot indítva el (ld. 3.1.4. fejezet), amely mindaddig tart, amíg az új egyensúlyi folyamat be nem áll (pl. mederpáncélozódás útján). A Donja Dubrava-i vízlépcső üzembe helyezése után 2003-ig átlagosan 33 000 t/év-vel csökkent a lebegtetett hordalékszállítás (VITUKI 2003). A Dráva átlagos évi görgetett hordalékhozama jelenleg  $10^5$  t/év nagyságrendű (BME 2019).

A horvát vízlépcsők görgetett hordalékszállításra kifejtett hatása az Órtilos-Botovo térségben a legerőteljesebb. A folyó megnövekedett energiataralmának következtében a vízerőművek alatt a korábbinál nagyobb frakciók is megindulnak a mederfenéken. A kimosódott hordalék a vízlépcsőktől távolabb, fokozatosan rakódik le – egyes tanulmányok (pl. EJF 2012) szerint a barcsi szakaszon. A kimosódott hordalék helyén keletkezett mederpáncélt Botovonál kb. 20 mm szemátmérőjű kavics alkotja, amelynek felszakításához egy legalább 700 m<sup>3</sup>/s nagyságú árhullám szükséges (VITUKI 2003). Az ekkor felszakadó mederpáncélnál alól kiszabaduló apró kavics és homokanyag nagy tömegben vonul Bélavár és Barcs felé, helyenként 0,5 m-nél is magasabb, 8-10 m hosszú dűnéket alkotva (BME 2019). A dűnék laza anyagát az árvíz követő közepes és kisvizek koptatják, nagyrészt elszállítják, részben, vagy egészben feltöltve az útjukba eső kotrási gödröket. Eközben a legfelső, botovoi szakasz medrének felszíne újrapáncélozódik.

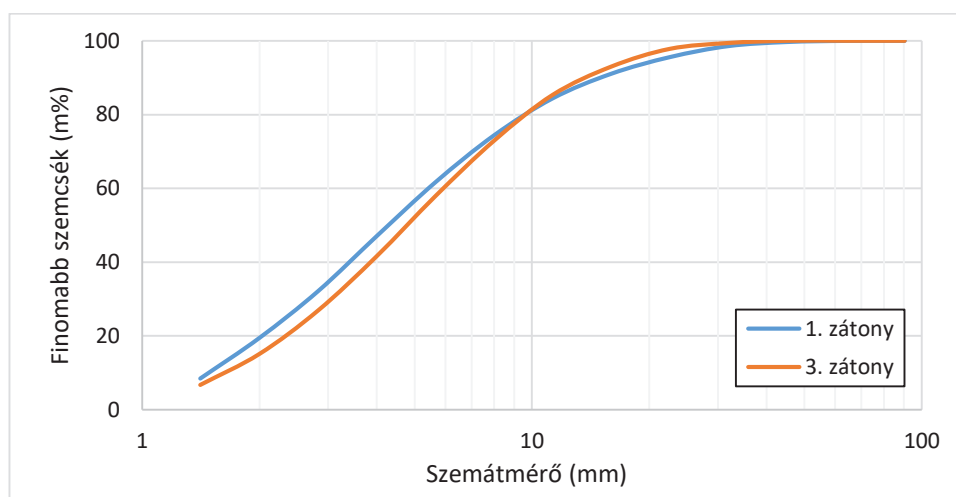


61. ábra: Az éves görgetett hordalékhozam alakulása Barcsnál (kék) és Drávaszabolcsnál (narancs) 1960-2018, illetve Botovonál (barna) 2004-2018 között (BME 2019)

A fenti ábrán (61. ábra) látható, hogy a görgetett hordalékhozam éves értéke a varasdi vízlépcső üzembe helyezése után kiegyenlítettebbé vált, noha a nedves években levonuló nagyobb árhullámok által szállított görgetett hordalék mennyisége továbbra is meghaladhatja az évi teljes hordalékszállítás 50 %-át is, míg a száraz évek árhullámai csak 10-20 %-át teszik ki annak. A dinamikus görgetett hordalékvándorlást Botovótól Barcsig a vízjárás, a horvát vízlépcsők, valamint a mederkotrások befolyásolják. A hordalékszállítás nagysága Botovótól Bélavárig csökken, majd Bélavártól kezdve növekszik és Drávaszabolcsnál a legnagyobb.

### 7.3.3 A mederanyag szemösszetételére kifejtett hatás vizsgálata

Kiss és András (2011) tanulmányukban kitértek az erőművek hatására a mederanyag szemösszetételében bekövetkezett változásokra is. A szemösszetétel változásának bemutatásához Varasdtól Barcsig 13 kavicszátonyon, összesen 100 pontban határozták meg digitális képfeldolgozási módszerrel a szemösszetételt. A vízerőművek közvetlen, lokális hatásának kimutatására az 1-3. zátonyok szemösszetételének (62. ábra) vizsgálata alkalmas. Az 1. zátony Varasdnál, a čakoveci és Donja Dubrava-i erőművek tározóttere felett található, a 2. zátony a Donja Dubrava-i tározó alatt, a 3. zátony pedig közvetlenül az eredeti meder és az üzemvízcsatorna összefolyása után helyezkedik el.



62. ábra: A mederanyag szemösszetételi görbéje Varasdnál (kék), illetve Donja Dubrava-nál (narancs) (Kiss és András 2011 alapján)

Kiss és András (2011) vizsgálataik alapján bemutatták, hogy a várakozásoknak megfelelően (ld. 3.1.4. fejezet), a nagyobb szemcséket csapdázzák a tározók. Az 1. zátonyból vett minták negatív értékű ferdesége a visszaduzzasztás miatt csökkenő energiatartalom jele. Ezzel szemben a 2. zátony mérési pontjai alapján a zátony egészét jellemző átlagos szemcseméret növekedett és a hordalék osztályozottsága javult (11. táblázat). Előbbi az erőmű alatt fellépő tisztavíz-erózióval magyarázható, míg utóbbi a tározótérben történő lerakódás következménye. A 3. zátonyból (vett minta szemcsemérete a tisztavíz-erózió következtében nagyobb az előzőkéhez képest, a hordalékszemcsék pozitív értékű ferdesége pedig a folyó megnövekedett energiájára utal.

11. táblázat: Az egyes zátonyok szemösszetételi jellemzői (Kiss és András (2011) alapján) (A táblázatban  $D_{\text{átl}}$  a zátonyra jellemző átlagos szemátmérő,  $D_{\text{max}}$  a legnagyobb szemátmérő.)

Zátony jele	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Helyszín	Varasd fölött	Donja Dubrava-i tározó alatt	Donja Dubrava	Mura torkolat fölött	Mura torkolat alatt	Botovo
$D_{\text{átl}}$ (mm)	4.3	5.0	4.8	4.4	3.7	4.3
$D_{\text{max}}$ (mm)	96.9	57.4	66.3	55.3	85.3	74.7
Osztályozottság	2.45	2.39	2.24	2.34	2.29	2.56
Ferdeség	-0.09	0.02	0.01	-0.04	-0.09	-0.15
Csúcsosság	0.94	0.90	0.92	0.90	0.88	0.93

A Mura torkolata alatt jelentősen megnövekszik a maximális szemátmérő, az eltérő energiaállapotú folyók hordalékának keveredésének hatására pedig romlik a mederanyag osztályozottsága. A szemösszetétel alakulásából arra lehet következtetni, hogy a Mura ellensúlyozza a vízlépcsők irányából

naponta megjelenő „mini-árhullámokat”, egyenletesebbé téve az energiaviszonyokat, s hozzájárulva a Dráva hordalék-egyensúlyának fenntartásához (Kiss és András 2011).

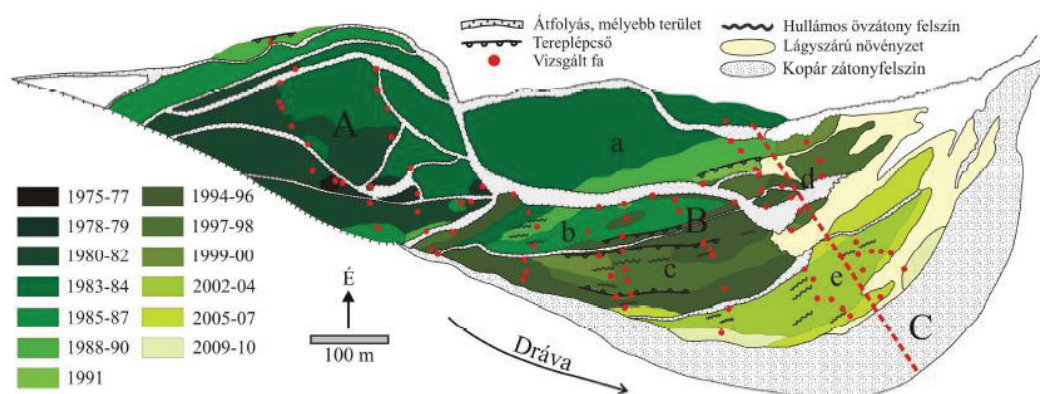
## 7.4 A mederalakra, mederszintekre kifejtett hatások vizsgálata

Ahogy az már a folyószabályozási beavatkozások (ld. 6. fejezet) hatásainak vizsgálatakor világossá vált, nehezen különíthető el az egyes antropogén tényezők (folyószabályozás, vízlépcsők, mederkotrás) hatására bekövetkezett változások. A 19. századi folyószabályozások következtében megindult morfológiai változásokat a horvát vízlépcsők üzembe helyezése tovább fokozta, újabb évtizedekkel elodázva ezzel az új egyensúlyi állapot kialakulását. A 6. fejezetben áttekintett változások 1975 utáni időszakra vonatkozó kiegészítése András (2015) tanulmánya alapján történt.

Az 1882-1968-as időszakban elkezdődött vízfelület csökkenés és mederszűkülés a varasdi vízlépcső üzembe helyezését követő időszakban nem csupán tovább folytatódott, hanem fel is gyorsult, ami szorosan összefügg az egyre épülő vízerőművekkel és a hatásokra alászálló vízszintekkel. A valódi szigetek száma elhanyagolhatóan csökkent, míg az összterületük megnövekedett, akárcsak az ártéri szigeteké. Ennek oka a süllyedő vízállásokkal állhat kapcsolatban, hiszen a szigetek között húzódó mellékágak a bevágódó főágnál magasabbra kerültek, így megindult a szigetek összeolvadása és nőtt a méretük. A területnövekedésükhöz az is hozzájárult, hogy a szigetekhez kapcsolódó zátonyfelszínek szárazulattá váltak és stabilizálódtak.

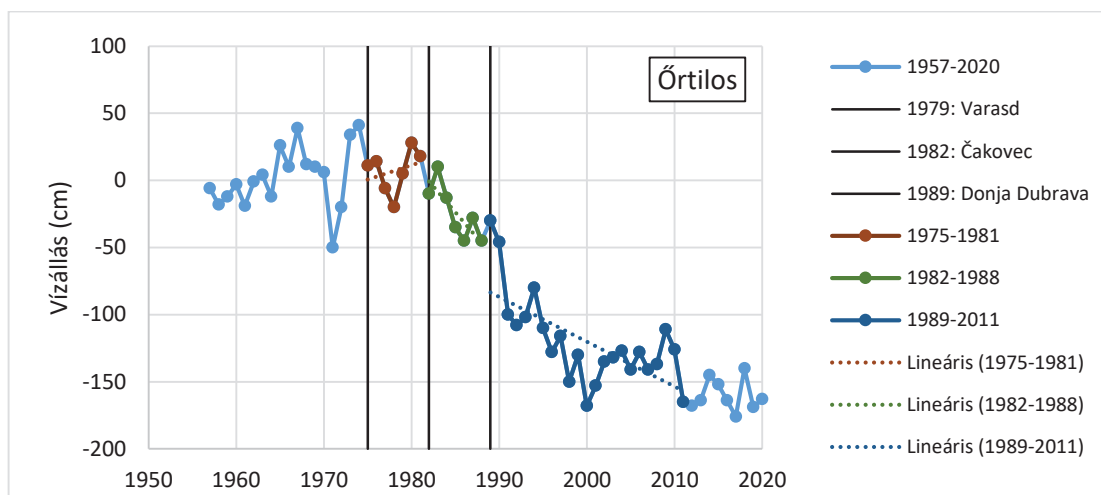
Az 1979 és 2007 közötti időszakban a vizsgált Dráva szakaszon a vízfelszín tovább zsugorodott, viszont üteme lassult. A meder átlagos szélessége is tovább csökkent, a szűkülés üteme meghaladta az 1968 előtti időszakban jellemző ütemet. Ezzel együtt a szigetek is változtak, hiszen míg a valódi szigetek száma tovább növekedett, addig a területük jelentősen zsugorodott, a szűkülő mederben csak kisebb szigetek tudtak kialakulni.

Noha kívül esik a vizsgált szakaszon, mégis érdemes bemutatni a Donja Dubrava-i kanyarultnál (63. ábra) végzett kutatás (Kiss és András 2015) eredményeit, mert ezáltal közvetlenül vizsgálható a legelső horvát vízlépcső hatása. Látható, hogy 1982-ig nem történt jelentős változás a meder morfológiájában. A vízlépcső üzembe helyezésének hatására bekövetkezett vízszintcsökkenés következtében megnövekedett a kisvizes időszakok gyakorisága (7.2.2. fejezet). Emiatt az övzátony felszínén könnyebben megtelepedhetett a növényzet, amely tovább erősítette a belső part épülését. A kanyarulat a mai napig dinamikusan fejlődik, belső partjának folyamatos épülésével, s külső ívének 3-4 méter magas partjának folyamatos pusztulásával egyre kifejezettebbé válik.



63. ábra: A Donja Dubrava-i vízlépcső alatti kanyarulat felszínének épülése (Kiss és András 2015)

A vízállás-idősorok elemzése alapján elmondható, hogy Őrtilosnál, ahol a leginkább érezhető a horvát vízlépcsők mederszintekre kifejtett hatása, 1975 és 2011 között kb. 5,28 cm/év volt a medersüllyedés mértéke. Ezen a szakaszon nem ismert, hogy kotrási tevékenységet vagy különösebb folyószabályozási beavatkozásokat végeztek volna, így a kisvízszintek alakulása alapján becsült medersüllyedés pusztán a vízlépcsők következményének tekinthető. Külön is megvizsgálva a három horvát vízlépcső hatását (64. ábra), látható, hogy az üzembe helyezést követően minden esetben hirtelen medermélyülés következett be.



64. ábra: A horvát vízlépcsők hatásának vizsgálata az Őrtilosi kisvízszintek változása alapján

Ez a medermélyülési folyamat azonban sem időben, sem térben nem tart a végtelenségig – minél régebb óta működik, s minél messzebb helyezkedik el a vízlépcsőtől a vizsgált fkm, annál kisebb a medermélyülés mértéke. A varasdi és čakoveci vízlépcsők esetében 5-6, a Donja Dubrava-i vízlépcső esetében azonban lényegesen tovább, egy teljes évtizedig is tartott a Dráva felborult egyensúlyának stabilizálása. Az elmúlt évtizedben azonban állandósulni látszik a vízszint, így elmondható, hogy miután a vízlépcsők felborították az egyensúlyát, a Dráva medre újra stabilizálódni látszik.

A botovoi és Novo Virje-i szelvényekben a vízlépcsők esetleges hatása mellett párhuzamosan már a kanyarulat-átvágások, a partbiztosítások és a kotrás is szerepet játszott. Ugyan a Botovo környékén kitermelt térfogatról csak 2003-tól van adat, a Barcs feletti szakaszon átlagosan 0,53 cm/év medersüllyedést becsülve az 1982-2011 között kitermelt kavics térfogata és a görgetett hordalékszállításban keletkezett deficit alapján (ld. 5.3. fejezet) a vízlépcsők (és egyéb hatások) hatására 1975-2011 között bekövetkezett medersüllyedésre Botovonál 0,21 cm/év, Novo Virjénél 1,45 cm/év feltöltődés adódik. A múlt évtized kisvízszintjeinek elemzése alapján itt is stabilizálódni látszik a meder. Fontos megjegyezni, hogy a vízlépcsők üzemelésének hatására megindult morfológiai folyamatok térben és időben változnak, így például a kezdeti medererózió fokozatosan parterózióba fordul át – a folyó saját esése után partjainak, vonalvezetésének alakításán keresztül igyekszik elérni egy új egyensúlyi állapotot. Ahol azonban partbiztosítások találhatók, ott továbbra is vertikális változások mennek végbe, amelyet a mederpáncélzat kialakulása állíthat meg. Barcs fölött ez a hatás elsődlegesen Botovo és Décseszentpál között jelentős.

Barcsnál és Drávaszabolcsnál a vízlépcsők és a kotrási tevékenység hatása már nem különíthető el egyértelműen. A Barcs alatti szakaszon átlagosan 0,94 cm/év medersüllyedést becsülve az 1982-2002 között kitermelt homok térfogata és a görgetett hordalékszállításban keletkezett deficit alapján (ld. 5.3. fejezet) a vízlépcsők (és egyéb hatások) hatására 1975-2002 között bekövetkezett medersüllyedésre Barcsnál 2,66 cm/év, Drávaszabolcsnál 0,71 cm/év adódik. A Dráva alsó, vízlépcsőktől távolabbi szakaszán is igaz, hogy a vízlépcsők hatása napjainkban már nem érvényesül.



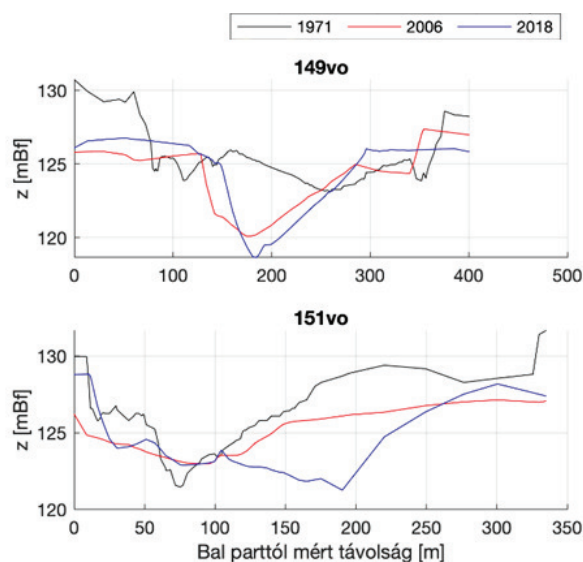
## 8 Mederalakváltozási folyamatok feltárása

### 8.1 A jelentős változást mutató folyószakaszok beazonosítása

A 4. fejezetben ismertetett mederdomborzati térképeket is felhasználtuk a morfológiai folyamatok pontosabb feltárására. Különbségtérképek készítésére nem volt mód, mivel az 1971-es Dráva Atlasz felmérési keresztshelvényei túlságosan távol estek egymástól ahhoz, hogy interpolációs módszerekkel megbízható pontosságú felületmodellt tudjunk előállítani. Ahhoz, hogy a mederalak időbeli alakulását megvizsgáljuk, a felmérési keresztshelvények helyén elmetszettük a 2006. és 2018. évi felmérésekhez kapcsolódó domborzati modelleket és így közvetlenül a keresztshelvények geometriáját hasonlíthattuk össze. A jelentés Függelékébe illesztettük be a nagyszámú grafikont, az alábbiakban csak néhány reprezentatív helyről mutatjuk be azokat.

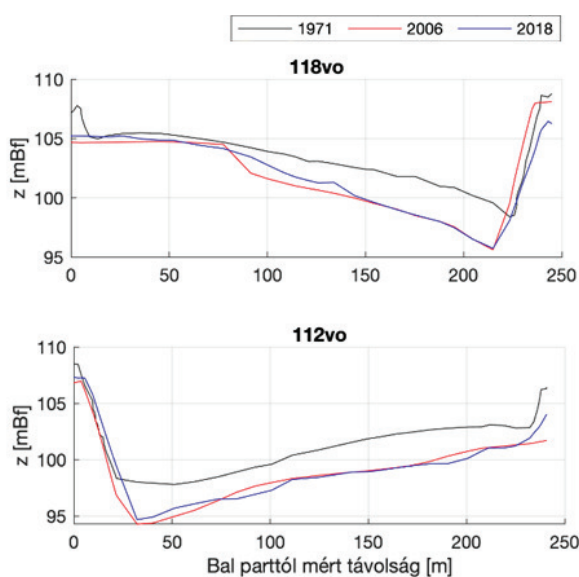
A keresztshelvények alakjának vizsgálatával két célunk volt. Egyfelől igazolni akartuk, hogy a korábbiakban, a kisvízszintek alakulásából a medermélyülésre levonható következtetések helytállóak, vagyis azok a tendenciák, amiket ismertünk a vízszint elemzés alapján, a mederalak mélyülésében tetten érhetők, legalábbis azokban az „időpillanatokban”, amikre a felmérések vonatkoznak. A másik célunk az volt, hogy olyan szakaszokon, ahol hosszú idejű vízszint idősorok nem állnak rendelkezésre, mert pl. egyszerűen nincsenek az adott szakaszok vízrajzi állomások, valamilyen, legalább kvalitatív jellemzést a mederváltozásra adhassunk.

A mederalakváltozás ismertetésével felvízi irányból haladunk alvíz felé. Őrtilos környezetében ugyan lokálisan (149 és 151-es VO shelvények), de egészen 2018-ig megfigyelhető a meder jelentős mélyülése (65. ábra). Ezen a szakaszon a Mura-torkolat dinamikus alakulása számottevően kihat a Dráva alakjára, továbbá ez shelvény helyezkedik el legközelebb az utolsó horvát vízlépcsőhöz, így annak hatása is itt érződik a legintenzívebben. A mederszintek változása ezen a szakaszon az egyes mérési időszakok között néhol méteres nagyságrendű, de ez összhangban van a korábban bemutatott kisvízszint változás értékekkel, ahol az őrtilosi shelvényre 1971-2006 között kb. 150 cm, 2006-2018 között további 30 cm mélyülés volt leolvasható.

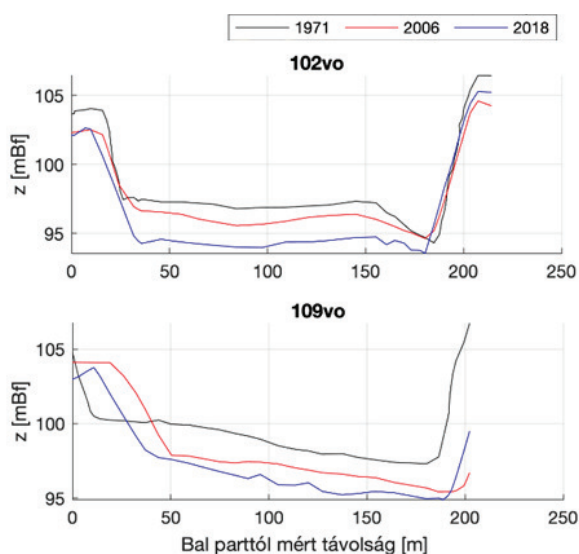


65. ábra: Jellemző keresztshelvények Őrtilos környezetében a három felmérési időszakból

Tovább haladva alvízi irányba, Barcsig egészen hasonló viselkedést mutatnak a keresztaszelvény alakok: 1971-2006 között egy-egy kivétellel rendre méteres nagyságrendű mélyülés, majd 2006-2018 között stabil mederalak inkább lokális, akár szelvényen belüli átrendeződéssel (66. ábra). Barcs környezetében (kb. 100-109 VO szelvények közötti szakaszon) ezzel szemben az elmúlt 15 éves időszakban is további medermélyülés jelentkezett (67. ábra), ami, ahogy a későbbiekben bemutatjuk, a vízszint adatsorokon már nem látható egyértelműen. Ez a jelenség arra enged következtetni, hogy a korábbi mederkotrások eredményeképpen kialakuló és bizonyos ideig fennmaradó medereróziós folyamatok mentek végbe (lásd a 2. ábrát), ami a kotrási területek hordalékcsapdázó hatásával magyarázható. A kotrási helyszínek ismerete ezt a hipotézis megerősíthetné, egyúttal felhívna a figyelmet arra, hogy a medermélyülést akadályozó beavatkozások az ilyen helyeken lehetnek szükségesek.

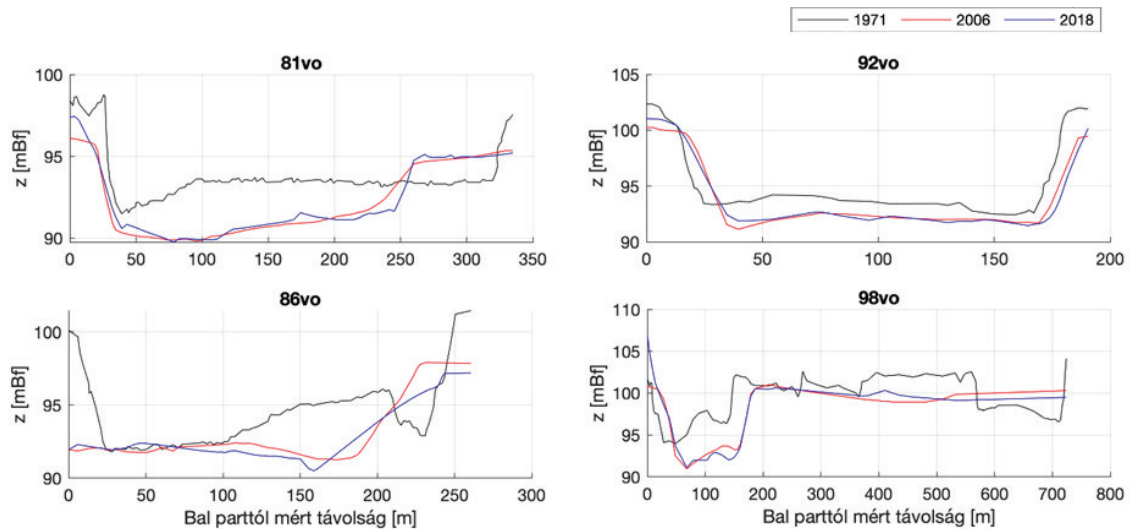


66. ábra: Jellemző keresztaszelvények az Őrtilos és Barcs közötti szakaszon a három felmérési időszakból



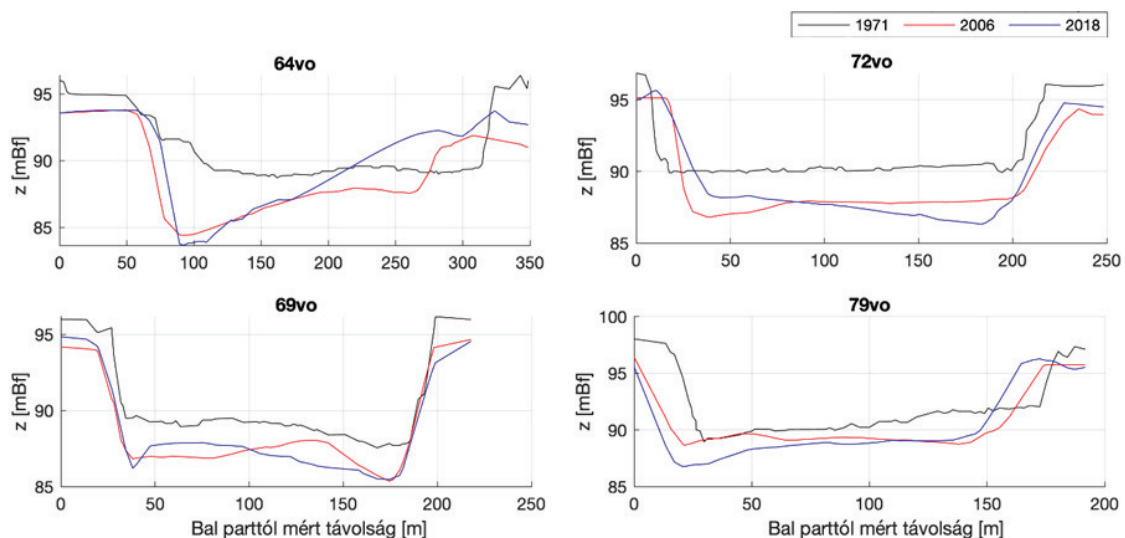
67. ábra: Jellemző keresztaszelvények a Barcs környéki szakaszon a három felmérési időszakból

A 100-as VO szelvénytől alvízi irányba haladva, kb. a 80-as köig (kb. 147-116 fkm szelvények között) ismét egy olyan mederszakaszt találunk, ahol az 1971-2006 közötti időszakban jelentős morfológiai változások mentek végbe (68. ábra), döntően a meder mélyülését eredményezve, de több szelvénynél megmutatkozik a meder keresztirányú fejlődése is. A 2006 utáni időszakban viszont ezen a szakaszon ismét a Barcs fölötti térséghez hasonlóan stabil mederalak rajzolódik ki. A későbbiekben bemutatásra kerülő kisvízszint analízis során is jól látszik majd, hogy valóban, az elmúlt évtizedben már nem mutatható ki mélyülő tendencia, a folyómeder már egy új egyensúlyi állapotot ért el.



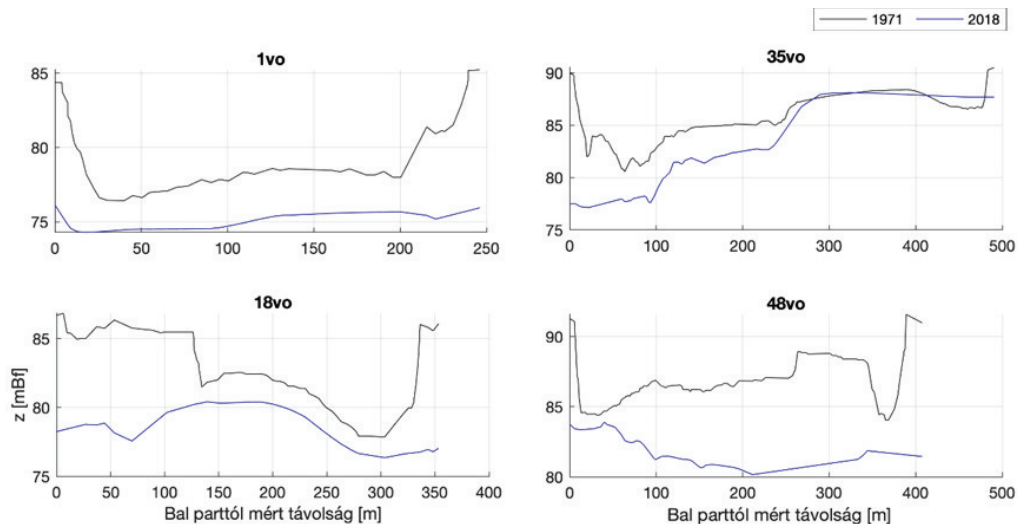
68. ábra: Jellemző keresztaszelvények a 147-116 fkm közötti szakaszon a három felmérési időszakból

Drávaszabolcs felé haladva a 80-50 VO (kb. 116-78 fkm) szelvények között a keresztaszelvények egy dinamikusan változó jelleget mutatnak (69. ábra). Mint a Dráva teljes vizsgált szakaszán, itt is szembevetendő az 1971 óta bekövetkezett méteres nagyságrendű medermélyülés, viszont a rákövetkező vizsgált időszakban, 2006-2018 között már sokkal inkább a lokális átrendeződés figyelhető meg és szemben a Szentborbás környezetében tapasztalt stabil mederalakkal, itt a meder keresztirányú mozgása mutatható ki.



69. ábra: Jellemző keresztaszelvények a 116-78 fkm közötti szakaszon a három felmérési időszakból

A Drávaszabolcs és Duna-torkolat közötti szakaszon már nem állt rendelkezésre a 2006-os mederdomborzati térkép, ezért ezen a szakaszon csak két felmérési időszak alapján lehetett előállítani a keresztaszelvény alak grafikonokat. A jelzett időszakban a teljes alsó szakaszon méteres nagyságrendű medermélyülés figyelhető meg (70. ábra). A 2018. évi felmérés csak a főmederre terjedt ki, ezért a partvonalak alakulása nem vethető össze a korábbi adatokkal, de számos szelvény esetében jól láthatóan a mélyülés mellett oldalirányba is elmozdult a meder.



70. ábra: Jellemző keresztaszelvények a Drávaszabolcs alatti szakaszon a három felmérési időszakból

## 8.2 Sziget- és kanyarulatfejlődés alakulása

### 8.2.1 Szigetfejlődés

A szigetek fejlődését (szigetek számának, területének, gyakoriságának, valamint fejlődési állapotának alakulását) a Dráva vizsgált szakaszán 1882 és 2007 között András (2015) tanulmányozta.

1882 és 1968 között a csökkenő vízszintek hatására megindult a sodorvonal bevágódása, miáltal egy markánsabb főág tudott kialakulni a Dráva fonatos medrében. Ezzel párhuzamosan a Barcs fölötti szakaszon a szigetek partba olvadása vált jellemzővé, melynek eredményeként az átlagos mederszélesség mintegy 30%-kal csökkent. A keskenyedő mederben csökkent az esélye annak, hogy egymás mellett épülhessenek fel a szigetek, így azok egyre inkább egymástól folyásirányban eltolva jelentkeztek. A keskenyebb mederben a folyó erodálóképessége is megnőtt, amely a szigetek alakját jellemző megnyúlási index növekedését eredményezte. A felső szakasszal ellentétben a Barcs alatti, kanyarulat-átvágásokkal kiegyenesített szakaszon medertágulatok alakultak ki, melyekben egyre több sziget tudott képződni.

A legintenzívebb mederszűkülés 1968 és 1979 között következett be. A szigetek összeolvadásával „kerekdedebb” szigetek alakultak ki, amely a megnyúlási indexek csökkenésében is megmutatkozott. 1979 után ugyan lassult a mederszűkülés üteme, de a jelentősen leszűkült mederben már csak kisebb szigetek tudtak kialakulni. Az 1980-as években a hajózási útvonal biztosítása érdekében végzett mederrendezési munkálatok során egy egységes főmeder kialakítása volt a cél. A terelőművek és partbiztosítások megépítése a Dráva medrének egyszerűsödését vonta magával – a valódi szigetek száma ugyan növekedett, de összeterületük jelentősen csökkent. A szigetek megnyúlási indexe a teljes szakaszon növekedett, a felső szakaszon ehhez a vízlépcsők okozta napi vízszint-ingadozás is

nagymértékben hozzájárult. A főágban megindult bevágódási folyamat továbbra is zajlott, így a szigetek partba olvadása is folytatódott. A sodorvonal mind markánsabbá válása a sodorvonalban lévő szigetek dinamikus pusztulásával járt együtt.

## 8.2.2 Kanyarulatfejlődés

A Dráva kanyarulatainak fejlődése András (2015) és Schwarz (2007, 2019) tanulmányainak kiegészítése alapján történt (12. táblázat). A korábbi tanulmányok kiegészítése során a kanyarfejlettség meghatározásához szükséges paraméterek (ív hossz és húr hossz, ld. 6.2.1. fejezet) meghatározása Őrtilostól az országhatárig a Dráva Nagyvízi Mederkezelési Tervében (DDVIZIG 2014a-b) közölt helyszínrajzok, az országhatártól a torkolatig pedig a Google Earth 2014-es felvételei alapján történt. A 12. táblázatban közölt kanyarfejlettség értékek alapján látható, hogy az átlagos kanyarfejlettség alapján a teljes szakasz 1882 óta fejlett (III), s időben mind erőteljesebbé vált a kanyargós medermintázat (András (2015)). András (2015) szerint a kanyarfejlettség csupán kismértékű változása alapján 2007-re lényegében már egy állandósult állapot alakult ki.

12. táblázat: A kanyarfejlettség alakulása a Dráva vizsgált szakasza mentén 1882 és 2014 között

Felmérés ideje	Szakasz			Megjegyzés	Forrás
	teljes	felső	alsó		
1882	1.24	1.37	1.19	a két szakasz határa: Barcs (154.10 fkm)	András (2015)
1968	1.24	1.37	1.19		
1979	1.24	1.36	1.19		
2007	1.24	1.33	1.20		
2014	1.30	1.41	1.25		
2006	1.44	1.20	1.50	a két szakasz határa: Bolhó (185 fkm)	Schwarz (2007, 2019)
2014	1.30	1.16	1.34		

A kanyarfejlettségben időben hirtelen bekövetkező csökkenés a kanyarulat-átvágások eredménye lehet, hiszen az átvágás hatására megnövekszik a mederesés, amelyet hosszú távon kanyargóssága növelésével igyekszik kompenzálni a meder (ha nem gátolják partbiztosítások, az átvágás után elkezd kiszélesedni a meder, s elindul a természetesen kanyargó állapot helyreállítása). Ahol azonban a szabályozások miatt nem tud szabadon kanyarogni a meder, feltételezhetően medermélyülés következik be. A Dráva magyarországi szakaszának kb. 20%-át látták el partvédelemmel.

A vízerőművek üzembe helyezése után a csökkenő vízszintek hatására szintén elkezdett átalakulni a meder. A vízszintek alászállásával együtt fokozatosan a partba olvadtak a szigetek (ld. 8.2.1. fejezet) - az így elkeskenyedő meder pedig elkezdett kanyarogni, ahol ebben nem korlátozták folyószabályozási művek.

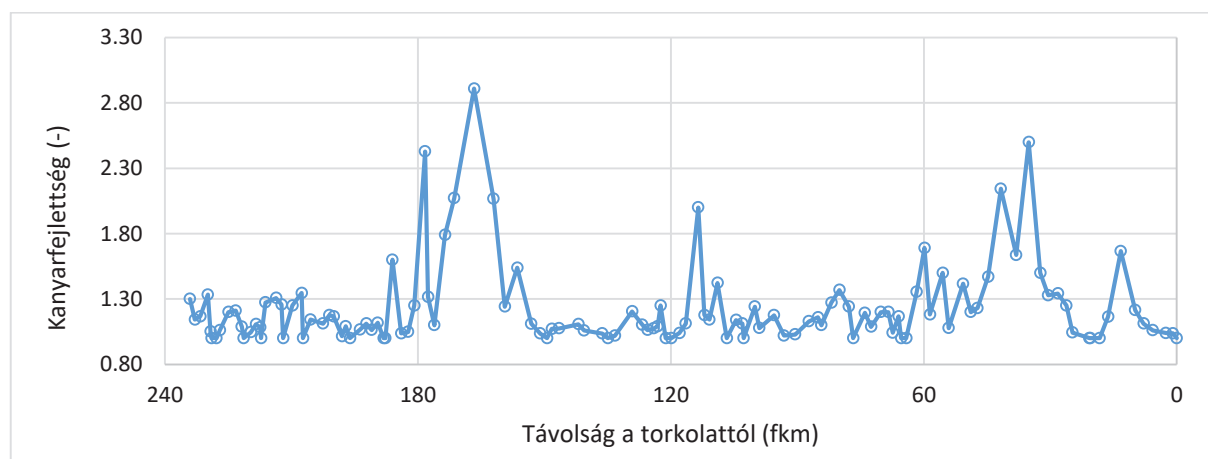
A vizsgálatok alapján a Dráva kanyarutai a 19. század vége óta mindmáig jellemzően fejlettek (III) ( $1,10 < S < 1,40$ ). A teljes szakaszt tekintve a kanyarulatok 23%-a egyenes (I) (melyek 45%-a teljesen egyenes, vagyis  $S=1,0$ ), 10%-a fejletlen (II), 45%-a fejlett (III), 22%-a pedig érett (IV). A felső szakaszon a kanyarulatok 16%-a egyenes (I) (melyek 43%-a teljesen egyenes, vagyis  $S=1,0$ ), 12%-a fejletlen (II), 47%-a fejlett (III), 26%-a pedig érett (IV). Az alsó szakaszon a kanyarulatok 26%-a egyenes (I) (melyek 45%-a teljesen egyenes, vagyis  $S=1,0$ ), 9%-a fejletlen (II), 44%-a fejlett (III), 20%-a pedig érett (IV). Az Alsó-Dráva kanyarulatainak fejlődési állapot szerinti százalékos megoszlását a 13. táblázat tartalmazza.



13. táblázat: Az Alsó-Dráva kanyarulatainak fejlődési állapota 2014-ben

Fejlődési szakasz	Teljes szakasz	Felső szakasz	Alsó szakasz
I	23%	16%	26%
II	10%	12%	9%
III	45%	47%	44%
IV	22%	26%	20%
V	0%	0%	0%

A 71. ábra a kanyarfejlettség alakulását mutatja be a Dráva alsó szakasza mentén. A kanyarfejlettséget a fent említett antropogén hatásokon túl természetes hatások is befolyásolják. A mederlejtés növekedésével egyre kanyargósabbá válik a meder (Schumm és Khan 1972), a folyó a hirtelen esésváltást (pl. részmedencébe érkezés) kanyargósabb útvonallal kompenzálja, vagy éppen ellenkezőleg – a tektonikai mozgások következtében kiemelkedő területen medre mélyítésével (bevágódással), alakításának egyszerűsödésével jut keresztül (ld. 3.2.2. fejezet).



71. ábra: A kanyarfejlettség alakulása a Dráva alsó szakasza (236-0 fkm) mentén 2014-ben

A felső, szabályozatlan szakaszon a Bélavár környéki (180 fkm) hirtelen esésváltás következtében a folyó nagyobb kanyarfejlettséggel tartja fenn saját lejtését. Az alsó szakaszon a kanyarulatok dinamikus egyensúlya, vándorlása figyelhető meg. Látható, hogy a torkolat felé a sík terepen (az alsószakasz jellegnek megfelelően) egyre magasabb a kanyargósság mértéke. A 120 fkm környéki kiugró érték szintén egy jelentősebb eséstörés eredményének tudható be. A 80-30 fkm közötti szakaszon tapasztalt magasabb kanyarfejlettség-értékek összhangban vannak a WWF (2002) tanulmányával, mely szerint a folyószabályozási beavatkozások, művek fenntartásának hiányában ezen a szakaszon 1990 után megindulhatott a természetes állapothoz való visszatérés, s egyre kanyargósabbá, meanderezővé válhatott a meder. A 30 fkm alatt a torkolatig azonban intenzíven szabályozott a meder, miáltal nem várható jelentős változás a közel egyenes szakaszon. Az utolsó kiugró érték a drávanémeti kanyarulat esetében (kb. 12 fkm) tapasztalható.

A jelen tanulmányban meghatározott értékeket összevetve a Schwarz (2007, 2019) által bemutatott referencia értékekkel (ld. 6.2. fejezet) megfigyelhető (14. táblázat), hogy valóban közelebbinek tűnik a Dráva természetes állapotának visszanyerése.

14. táblázat: A kanyarulatfejlettség alakulása 2006 és 2014 között; összehasonlítás a Schwarz (2007, 2019) által meghatározott referencia értékekkel

Fejlődési szakasz	D-II			D-III		
	referencia	2006	2014	referencia	2006	2014
I	0%	0%	19%	0%	0%	24%
II	20%	70%	17%	15%	50%	8%
III	60%	30%	61%	45%	50%	41%
IV	20%	0%	3%	35%	0%	27%
V	0%	0%	0%	5%	0%	0%

### 8.3 Kisvízi vízszintek hosszmenti és időbeli alakulásának vizsgálata

A Dráva alsó, Őrtilostól torkolatig tartó szakaszán összesen 14 vízmérce található (15. táblázat), melyek közül 10 állomás vízállás-idősorát használtuk fel az elemzéshez. Az éves KV idősőrok előállítására a DDVIZIG állomásokra a napi adatsorok, a Horvát Meteorológiai Intézet (DHMZ) állomásokra pedig a 2018-ig archivált éves adatsorok (napi átlag) alapján történt.

15. táblázat: A vízmércék adatai

Vízmérce	Helye (fkm)	Nullpont (mBf.)	Idősor	Üzemeltető
Őrtilos	235.90	125.94	1957-	DDVIZIG
Botovo	226.80	120.88	1926-2018	DHMZ
Novo Virje	200.60	108.19	1977-2018	DHMZ
Vízvár-Heresznye	187.59	101.195	2012-	DDVIZIG
Barcs	154.10	98.14	1901-	DDVIZIG
Terezino Polje	152.30	100.00	1925-2018	DHMZ
Szentborbás	133.10	94.74	1934-	DDVIZIG
Vrbovka	127.00	92.54	1997-2018	DHMZ
Moslavina	98.40	90.27	1968-2018	DHMZ
Donji Miholjac	80.50	87.90	1993-2018	DHMZ
Drávaszabolcs	77.70	86.76	1959-	DDVIZIG
Belišće	53.80	83.32	1962-2018	DHMZ
Eszék	18.96	80.81	1900-1912; 1920-2018	DHMZ
Bijelo Brdo	1.00	77.65	1964-1990; 2001-2013	DHMZ

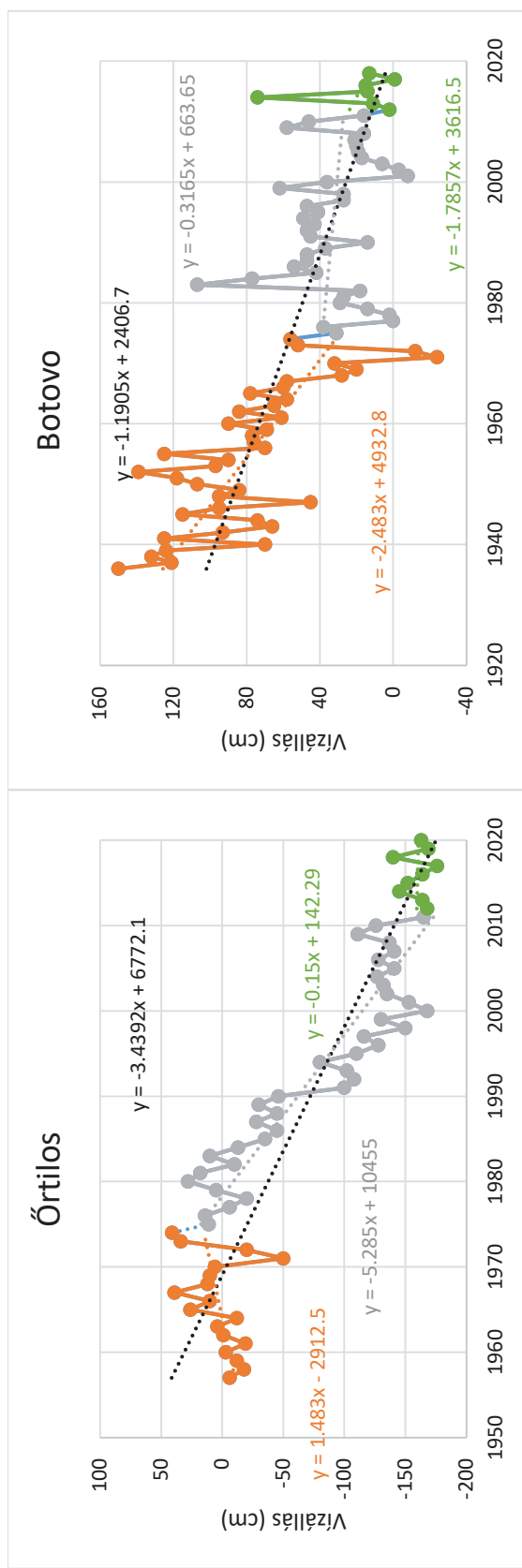
A kisvízi vízszintek alakulásának (72. ábra-74. ábra) vizsgálata az antropogén hatásoknak megfelelően több időszakra bontva történt: a horvát vízlépcsők megépítését megelőző, 1975 előtti I. időszakban csak folyószabályozási beavatkozásokat végeztek; a II. időszakban már a vízlépcsők és a folyami mederkotrás hatásai az elsődlegesek; míg az utóbbi 10-20 évre már lényegében minden antropogén hatás megszűnt (III. időszak).

A vízszint-idősorok alapján kijelenthető, hogy a 20. század eleje óta folyamatosan csökkentek a kisvízi vízszintek, kb. 0,50-3,50 cm/év (átlagosan 1,84 cm/év) ütemben. A Barcs fölötti, természetesebb állapotú szakaszon csak néhány folyószabályozási beavatkozást (főként az érett- és túlfejlett kanyarulatok átmetszését) végeztek, így az 1975 előtti időszakban csak enyhe, átlagosan 0,50 cm/év csökkenés következett be. A horvát vízlépcsők (kiváltképp a Donja Dubrava-i) hatása azonban 1975-től

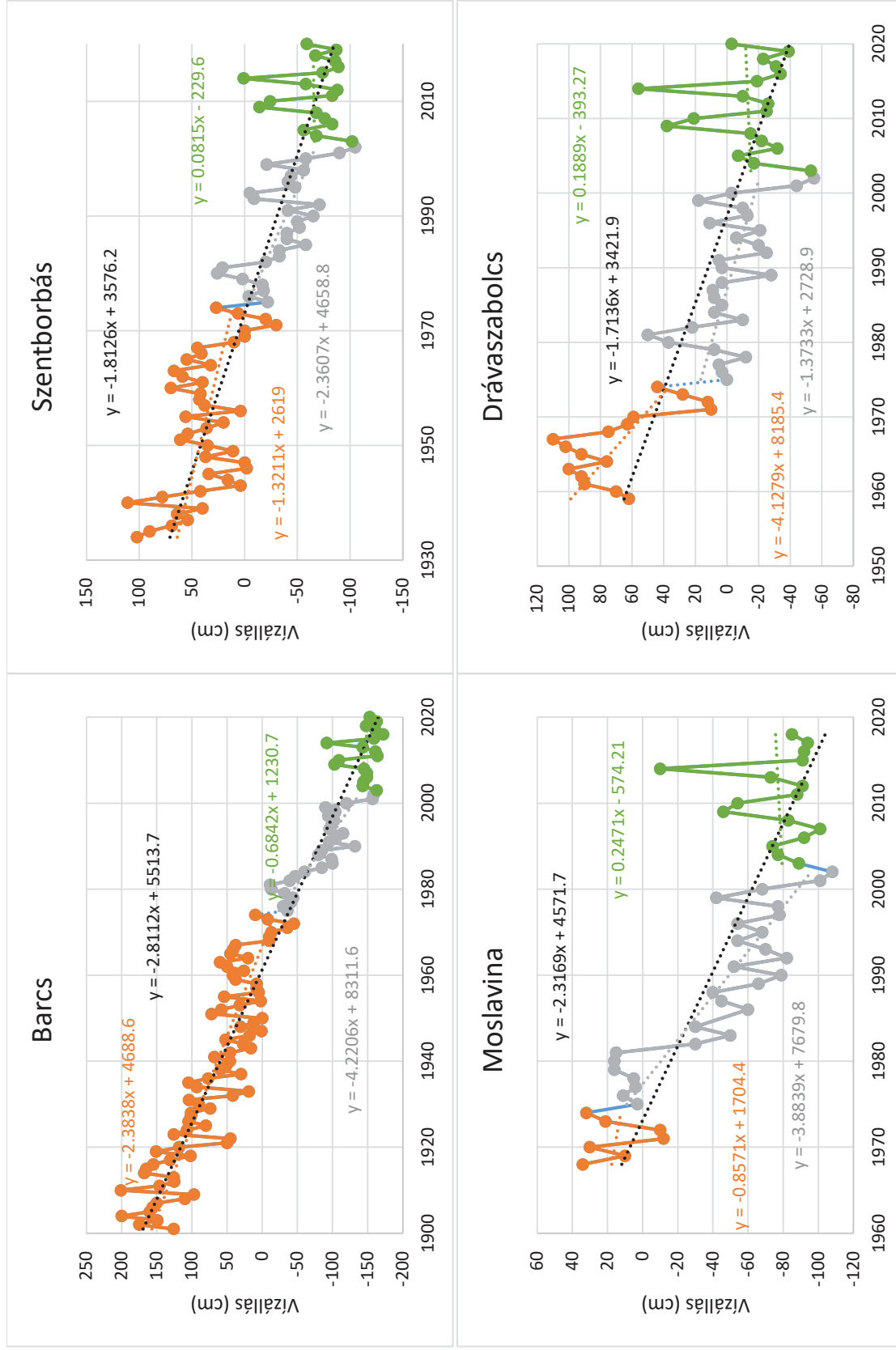
jelentősen megnyilvánult a kisvízi vízszintekben – 1975 és 2000 között 20-200 cm-rel (átlagosan 84 cm-rel) szálltak alá a kisvízszintek. Őrtilosnál a Donja Dubrava-i erőmű üzembe helyezését követően 1989 és 2000 között közel 140 cm-rel csökkent a kisvízszint. A botovoi és a Novo Virje-i idősorokban felismerhető a kanyarulat-átvágások hatására 1980-ban, illetve 1982-ben bekövetkezett vízszintesökkenés is. A rendelkezésre álló kotrási adatok ismeretében 1982 és 2011 között nagymértékű, ipari célú kavicskotrás gyorsította tovább a medermélyülést, és így a vízszintek csökkenésének folyamatát.

A Barcs alatti, intenzíven szabályozott szakaszon 1975 előtt gyorsabb ütemben (átlagosan 2,08 cm/év) csökkentek a vízszintek. Az alsó szakaszon még az 1980-as években is több folyószabályozási beavatkozást végeztek, amely Barcs és Drávaszabolcs között időközben jelentős homokkotrási tevékenységgel is kiegészült, tovább erősítve a vízszintek csökkenését (átlagosan 2,17 cm/év). 1975 és 2002 között az antropogén tényezők együttes hatására mintegy 40-120 cm-rel (átlagosan 83 cm) csökkentek a kisvízi vízszintek. Drávaszabolcs alatt, a torkolati szakaszon már nagymértékben megmutatkozik a Duna hatása, a vízszintek dinamikus alakulását döntően befolyásolja.

A kisvízi vízszintek alakulása alapján elmondható, hogy - a 2014-es nedves év kiugró értékétől eltekintve - a vízszintek állandósulni látszanak, mely arra enged következtetni, hogy a kotrások megszűnése óta ki tudott alakulni egy új egyensúlyi állapot. Azonban fontos megjegyezni, hogy rövid idejű adatsorokról (utóbbi 10-20 év) van szó, amelyek nem feltétlenül tekinthetők reprezentatívnak és mindenképpen arra hívják fel a figyelmet, hogy folyamatos, további vizsgálatok szükségesek annak igazolására, hogy a Dráva medre közelít egy új egyensúlyi állapothoz. Továbbá azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy míg a vízszintek alakulásából következtethetünk a vertikális mederváltozásokra, addig a horizontális változások kimutatására, becslésére kiegészítő információk (pl. mederfelmérés) nélkül már nem alkalmas ez a módszer. Az új egyensúlyi állapotot különösen azokon a szakaszokon feltételezhetjük, ahol partbiztosítások is vannak, hiszen azok gátolják az oldalirányú eróziós folyamatokat.

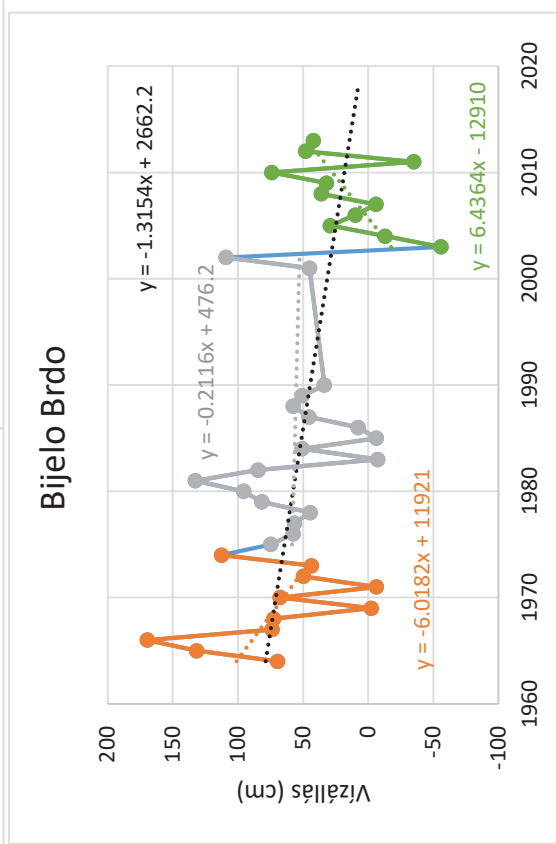
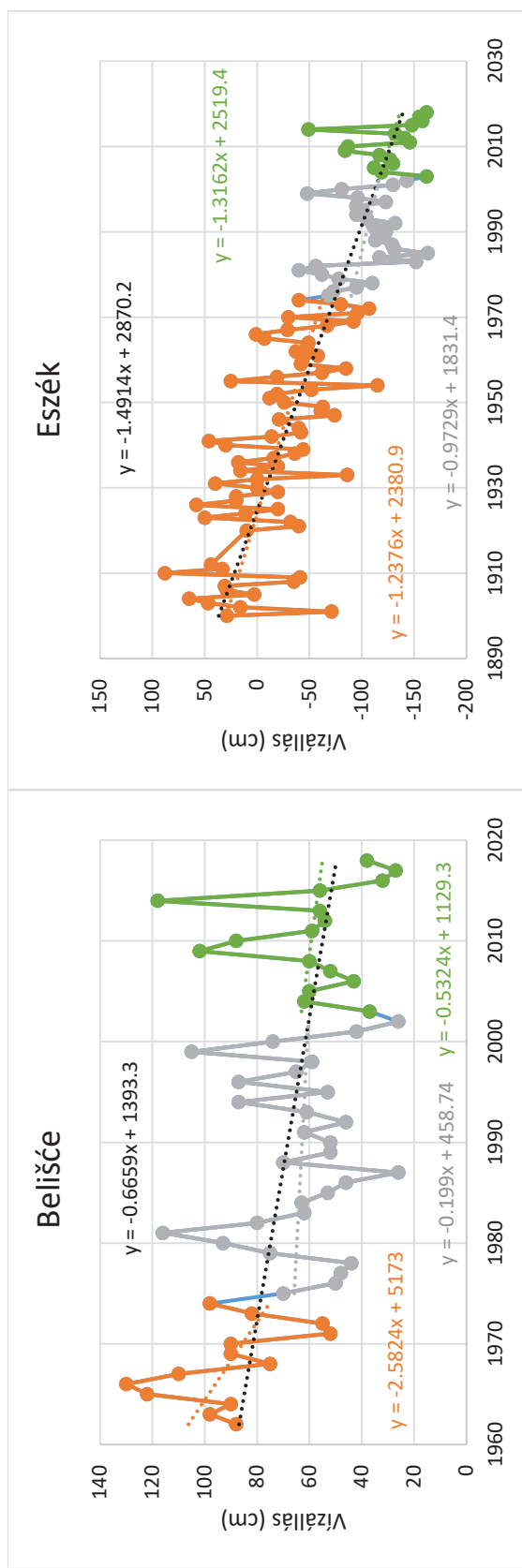


72. ábra: A Barcs fölötti szakaszon található állomások kisvízszintjeinek alakulása. A színek magyarázata: narancs: csak folyósabályozási beavatkozások (1975 előtt), szürke: vízlépcsők és mederkotrás is (1975-2011), zöld: a kotrási tevékenység megszűnése óta (2012-től napjainkig); fekete: teljes időszak



73. ábra: A Barcs és Drávaszabolcs közötti szakaszon található állomások kiszivizintjeinek alakulása. A színek magyarázata: narancs: csak folyósabályozási beavatkozások (1975 előtt), szürke: vízlépcsők és mederoktrálás (1975-2002), zöld: a kotrási tevékenység megszűnése óta (2003-tól napjainkig), fekete: teljes időszak





74. ábra: A Drávaszabolcs alatti szakaszon található állomások kisvízszintjeinek alakulása. A színek magyarázata: narancs: csak folyószabályozási beavatkozások (1975 előtt), szürke: vízlépcsők és mederkotrás is (1975-2002), zöld: a kotrási tevékenység megszűnése óta (2003-tól napjainkig); fekete: teljes időszak

## 9 Értékelő elemzés

### 9.1 A medersüllyedést okozó hatások feltárása

Ahogy az már a korábbi fejezetekben is előkerült, az egyes tényezők hatásai általában egymásra tevődnek, így nehezen különíthetők el. A medersüllyedést kiváltó hatások feltárásában további nehézséget okoz, hogy kevés információ áll rendelkezésre a különböző tényezők vizsgálatához. Fontos kérdés az is, hogy az egyes tényezőkre milyen hosszú a folyó által adott válasz reakcióideje – a természeti hatásokra a folyó válaszája például jóval lassabb, mint az antropogén hatások esetében (ld. 3. fejezet).

Jelen tanulmányban a medersüllyedés értékének becslése a rendelkezésre álló hidrológiai adatok elemzése, valamint az ismert kotrási adatok alapján történt. A barsi és eszéki vízszintek alapján elmondható, hogy már jóval előbb megindult a medersüllyedési folyamat a Dráván (Bonacci és Oskoruš 2010, illetve 3.4. fejezet), azonban a legtöbb vízmércét csak a 20. század második felében telepítették, így csak onnantól vizsgálható részletesebben a medersüllyedési folyamat. A kotrási tevékenység elemzésében szintén bizonytalanság rejlik, hiszen kevés adat ismert a kotrások pontos helyszínéről, az illegális kotrási tevékenység pedig (értelemszerűen) egyáltalán nincs dokumentálva.

A mederváltozásokat közvetlenül a mederfelmérések, medertérképek alapján lehetne meghatározni, azonban ilyen jellegű monitoring nem folyik a Dráván, az eseti mederfelmérésekből előállított medertérképek összeegyeztetése komplex feladat, s már a legcsekélyebb transzformálási hibák is ellehetlenítik az összehasonlító elemzést.

#### 9.1.1 Antropogén hatások

##### 9.1.1.1 Területhasználat

A területhasználat bemutatása Lieb és Sulzer (2019) a Dráva-vízgyűjtő területhasználatának változásaival foglalkozó tanulmánya alapján készült.

A Dráva-vízgyűjtő benépesítése már az ókorban, a Római Birodalom fennhatósága alatt megkezdődött, majd a középkorban a szlávok és a magyarok betelepülésével folytatódott. A település- és úthálózat kiépítése az erdők irtásával és a mezőgazdasági területek kialakításával járt együtt. Később a török hódítások miatt a vizsgált szakaszon 16. század elejétől legalább a 17. század végéig mindkét oldalon lakatlan, elhagyatott volt a Dráva melletti terület. A Habsburgok által visszahódított területeken főként mezőgazdasági területeket alakítottak ki, de a török uralom alatt a szántóföldekre visszatelepedett erdők a mai napig megmaradtak. Az egyéb erdőirtások csak a 18. században kezdődtek újra.

Az iparosodás kezdetén (19. század) míg az osztrákok bányászatba kezdtek, a magyarok továbbra is a mezőgazdálkodást folytatták. A 20. századi kommunizmus alatt a magyar oldalon intenzívebbé vált a mezőgazdálkodás, így a heterogén mezőgazdasági mintázat (legelők, mozaikosság) átalakult hatalmas, egybefüggő szántóföldekké. A jugoszláv (később horvát és szlovén) oldal moderált kommunizmusa főként csak a hullámtereken és teraszokon vonta össze a szántóföldeket. Az 1989-es rendszerváltás után intenzív változások történtek a területhasználatban: 12%-kal nőtt a beépített területek aránya, s átlagosan 20%-kal csökkent a legelők területe.

A rövid összefoglalás alapján látható, hogy a Dráva vízgyűjtőjének alsó részén már évszázadok óta alapvetően mezőgazdálkodással foglalkoznak, nem változott túl jelentősen a beépítettség aránya sem. A Dráva menti Natura 2000-es élőhelyek védelmére nagy hangsúlyt fektet a Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatóság, az így megőrzött parti növényborítottság aktívan gátolja az eróziót, lassítja a lefolyást. Így - noha a felszíni lefolyás, illetve a talajvesztés alakulásáról nincs információ - a területhasználat változásai feltehetően nem eredményeznek jelentős mederváltozásokat a Dráván.

#### 9.1.1.2 Folyószabályozás

Közel 250 éve, természetes állapotában a Dráva alsó szakaszán (Őrtilostól a torkolatig) meanderezve, medrét dinamikusan építve és pusztítva haladt (Mantuánó 1976, Bognar 2008, Schwarz 2019). A 18. század végétől az elsődlegesen a hajózási útvonal javítására irányuló folyószabályozási beavatkozások (kanyarulat-átvágások, mellékágak elzárása, keresztgátak, partbiztosítások) hatására kb. 40%-kal csökkent a folyó hossza, jelentősen egyszerűsödött a medre (csökkent a kanyargóssága, egyszerűsödött a formakincse), s intenzív bevágódási folyamat indult meg a vizsgált szakasz teljes hosszán (Petrić et al. 2019).

A kisvízi vízszintekben bekövetkezett változások elemzése (6.3. fejezet) alapján az 1975 előtti időszakban (amikor is feltehetőleg csak a folyószabályozási beavatkozások hatásai érvényesültek) a Barcs fölötti szakaszon átlagosan 0,50 cm/év, a Barcs alatti szakaszon 2,08 cm/év medersüllyedés következett be. A vízlépcsők üzembe helyezése és a kotrási tevékenység megkezdése után azonban már nehezen különíthetők el az egyes tényezők hatásai.

A folyószabályozások hatásai jellemzően lokális jellegűek, a folyó válaszába a beavatkozást követően azonnal, de időben és térben röviden jelentkeznek, az új egyensúlyi állapot hamar (néhány éven belül) kialakul. A Dráva medrében, jóllehet, korábban folyamatos szabályozási munkálatok folytak, amik így időben elnyúló medermélyülő hatást okoztak. Mivel 1990 óta nem történt jelentős folyószabályozási beavatkozás, s fenntartási munkálatokat se nagyon végeznek (Remenyik 2004, 2006), az elmúlt évtizedekben feltételezhetően már nem okoz jelentős medermélyülést a folyószabályozás.

#### 9.1.1.3 Folyami kotrás

A Dráva medréből kitermelt homok- és kavics térfogatának elemzése alapján 1982-től 2011-ig (a kotrási tevékenység megszűntetéséig) becsülhető a pusztán a kotrási tevékenységből származtatható medersüllyedés. A számítások alapján Barcs fölött 1,25 cm/év, Barcs alatt 0,57 cm/év medersüllyedést eredményezett a kavics-, illetve homokkotrás (ld. 5.3. fejezet).

A kotrás hatására azonban a hordalékháztartásban is deficit keletkezett (ld. 3.1.3. fejezet), amely tovább erősítette a medersüllyedési folyamatokat. A kotrási térfogatok alapján becsült medersüllyedés és az egyes szelvényekben mért görgetett hordalék mennyiségének alakulása alapján becsült mederváltozás összegzése után a Barcs fölötti szakaszon 1,53 cm/év, a Barcs alatti szakaszon 0,94 cm/év ütemű medersüllyedés következett be 1982 és 2011 (Barcs fölött), illetve 1982 és 2002 (Barcs alatt) között.

Fontos megjegyezni, hogy csak 1993-tól ismertek részletesebben a kotrási adatok (pl. kotrási helyszínek), valamint az illegálisan kitermelt térfogatokról egyáltalán nem áll rendelkezésre adat. A hordalékmérési adatokban szintén jelentkezhetnek bizonytalanságok.

#### 9.1.1.4 Vízlépcsők

A vizsgált szakasz hidromorfológiájára a legalsó horvát vízlépcső (Donja Dubrava-i) van a legjelentősebb hatással (Burián et al. 2019, illetve 7.4. fejezet). A vízlépcsők alatt a létesítést követően hirtelen intenzív bevágódás indul meg, amely az első néhány évben a legdinamikusabb, majd a bevágódás hatására fokozatosan csökkenő mederesés a folyó energiájának csökkenését és a hordalékszállítás mérséklődését vonja maga után, s egy új egyensúlyi állapot áll be (ld. 3.1.4. fejezet).

A vízlépcsők hatásából eredő medersüllyedés mértékének becslése szintén a kisvízszintek elemzése alapján történt. A horvát vízlépcsőkhöz legközelebb az őrtiloszi vízmérce található, így hatásuk elsődlegesen itt elemezhető. Itt 1975 és 2000 között összesen 209 cm (7,74 cm/év) medersüllyedés következett be a vízlépcsők üzembe helyezésének hatására. A botovoi és Novo Virje-i szelvényekben a vízlépcsők esetleges hatása mellett párhuzamosan már a kanyarulat-átvágások és a kotrás is szerepet játszott. A kisvízszintek csökkenésének üteméből levonva a mederkotrásokból eredeztethető medersüllyedést, 1975-2011 között bekövetkezett mederváltozásra Botovonál 0,21 cm/év, Novo Virjénél 1,45 cm/év feltöltődés adódik. Barcsnál és Drávaszabolcsnál a vízlépcsők és a kotrási tevékenység hatása már nem különíthető el egyértelműen. Az előzőekhez hasonlóan becslve Barcsnál 2,66 cm/év, Drávaszabolcsnál 0,71 cm/év medersüllyedés adódik.

A múlt évtized állandósulni látszó vízszintjei alapján elmondható, hogy a vízlépcsők hatására napjainkban már nem mélyül tovább a Dráva medre. Ennek magyarázata abban keresendő, hogy a vízlépcsők létesítése után megindult hirtelen, gyors vertikális változások egy idő után mérséklődtek, s az új, dinamikus egyensúlyi állapot kialakítása érdekében a folyó partjainak pusztításával igyekeznek kompenzálni az esésében bekövetkezett változást, amelynek azonban egyes folyószabályozási művek (pl. partbiztosítások, töltések) szabhatnak gátat.

Fontos megemlíteni, hogy a vízlépcsők üzemeltetésének mederalakra kifejtett hatása csak egy, a számos hatásmechanizmus mellett. A folyamatos, akár napi, dinamikus vízszintingadozások az áramlási sebességre, a mederfenéknél fellépő csúsztatófeszültségre és a vízhőmérsékletre is kihatnak, és ezen keresztül csökkenti a minőségét és kiterjedését a folyómenti élőhelyeknek, ami a biodiverzitás csökkenését vonja maga után, továbbá a halak és más élőlények reprodukcióját és túlélését is csökkenthetik (Greimel et al., 2018).

## 9.1.2 Természetes hatások

### 9.1.2.1 Klímaváltozás

A Dráva vízgyűjtőjének felső, alpesi része felelős a vízhozam kétharmadáért, így a felső vízgyűjtőn bekövetkező változások hatásait is figyelembe kell venni (Lóczy 2019). Az alpesi régiókban a klímaváltozás direkt hatásai közé sorolható, a nyári aszályos időszak növekvő gyakorisága, a növekvő árvízveszély, a csökkenő lejtőstabilitás, stb.

A teljes vízgyűjtőre jellemző az évi középhőmérséklet növekedése (az észéki hidrológiai állomás mérései alapján a téli átlaghőmérséklet például +0,06 °C/10 év ütemben változik, amely tipikus a kontinentális régiókban), a napsütéses órák számának növekedése, a relatív páratartalom csökkenése. Azonban míg az alpesi régiókban növekvőben a csapadék mennyisége, addig az alacsonyabban fekvő területeken a csapadék mennyisége (különösen tavasszal és ősszel) és az esős napok száma csökkent, emellett viszont gyakrabban fordulnak elő extrém események. (Lóczy 2019)

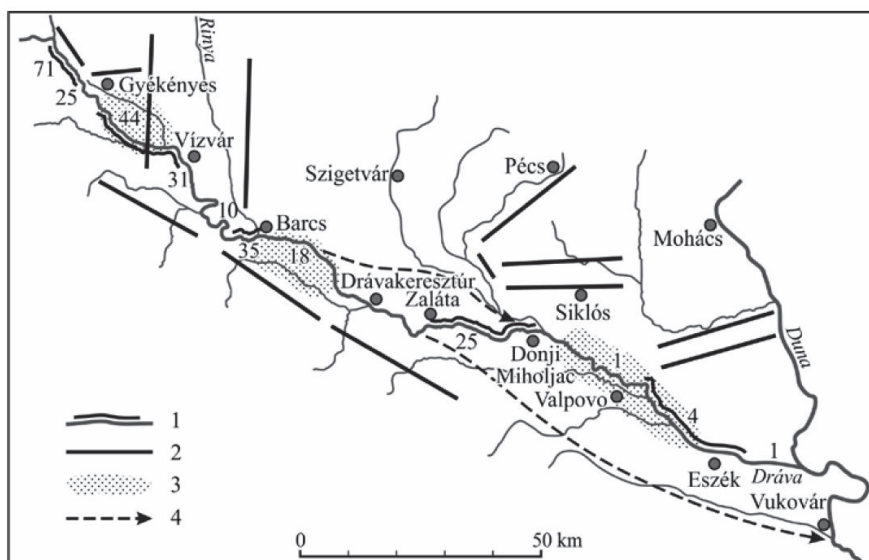
Lóczy (2019) alapján a klímaváltozás egyelőre nem sorolható a Dráva jelentős medermélyülését kiváltó tényezők közé, azonban a jövőben jelentős változások következhetnek be az éghajlatban, aminek feltehetőleg már kimutatható hidromorfológiai hatásai is lehetnek.

### 9.1.2.2 Tektonikus mozgások

A Dráva Mura és Duna-torkolat közötti szakasza mélyszerkezeti árokban halad, amelyben több kisebb részmedence alakult ki a pleisztocén végén, illetve a holocén időszakban (Lovász 1967). A tektonikai mozgások következtében a Dráva-völgy a kora miocén (a Pannon-medence kialakulása) óta folyamatosan süllyed (Burián et al. 2019). Ezek a tektonikai mozgások alakították ki a Dráva hosszszelvényében az egymástól jelentősen különböző esésű szakaszokat, melyek közül az utolsó markáns eséslépcsőt (Zaláta és Donji Miholjac között) egy igen fiatal süllyedés okozta. Barscs alatt a Dráva a Duna torkolatában lévő hatalmas süllyedékbe ér, ahol az alsószakasz jellegnek megfelelően kiegyenlített mechanizmusú, s természetes állapotban a feltöltődés jellemzi (Lovász 1967).

A Dráva-völgy szerkezetét bemutató ábrán (75. ábra) látható, hogy a jelentősebb szerkezeti vonalak irányultságából adódóan a kisebb mellékvizek hosszú km-eken át kénytelenek a főfolyóval párhuzamosan folyni. Az ábrán szaggatott vonal jelzi a Dráva korábbi folyásirányait. Látható, hogy a torkolat elvonszolódott - a folyó korábban Zaláta szomszédságában délre terelődve, mai medrétől átlagosan 20-25 km-rel délebbre haladt és Vukovárnál torkolt a Dunába. A folyó a tektonikai árok északi peremén végbement süllyedő mozgások hatására helyeződött át a mai helyére. Szintén a tektonikai vetők és süllyedések következményeként alakultak ki a Dráva természetes meanderei is (ld. 3.2.2. fejezet).

A tektonika süllyedés mértéke mindössze 1-2 mm/év (Joó 1992), vagyis egy nagyságrenddel kisebb a medersüllyedés mértékénél, ezáltal nem tekinthető az intenzív medersüllyedés kiváltó okának.



75. ábra: A Dráva-völgy szerkezete és a folyó mederesése (forrás: Lovász 2013) Jelmagyarázat: 1 – eséslépcső (cm/km), 2 – jelentősebb szerkezeti vonalak, 3 – részmedencék a szerkezeti árokban, 4 – a Dráva korábbi (holocén) folyásirányai



### 9.1.2.3 Folyómeder oldalirányú mozgása

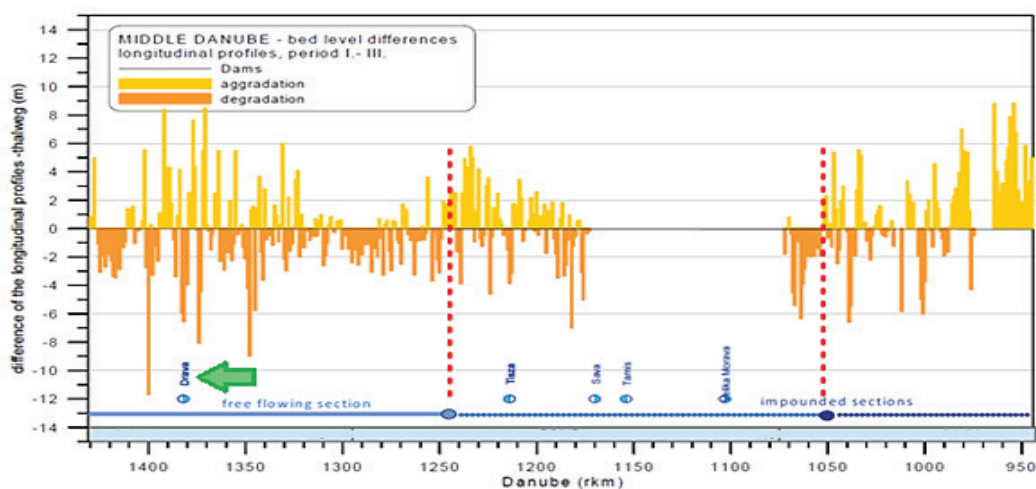
A kanyarulatfejlődés során a kanyargósság növekedésével a folyó oldalirányú mozgása is ütemesebbé válik. Barcs alatt az alsószakasz jellegnek megfelelően a Dráva természetes állapotában kanyarogva alakítja medrét, az erózió és a feltöltődés a teljes alsó szakaszt tekintve egyensúlyban van. A felső szakaszon a különféle antropogén tényezők hatására a korábbi fonatos alaktípus is átalakult egyágú, meanderezővé (ld. 6.2. fejezet). A folyó oldalirányú mozgása – ahogy a megnevezés is mutatja – alapvetően horizontális irányultságú, így medermélyülést csak az egyéb folyószabályozási hatásokkal együtt okozhat, a partbiztosítások ugyanis meggátolják az oldalirányú mozgást (ld. 3.2.3. fejezet). A Dráva magyarországi szakaszának kb. 20%-án gátolt partvédelemmel a folyómeder oldalirányú mozgása.

A Dráva-torkolat vándorlásában a tektonikai mozgások mellett a folyó oldalirányú mozgása (kanyargóssága) is szerepet játszott. Ez újfent csak közvetett módon okozhat medersüllyedést. A Duna aktívan és jelentősen befolyásolja a torkolati szakasz mederváltozásait, így a Duna - mint erózióbázis - medersüllyedése a Dráván is bevágódási folyamatot indít meg. 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.

### 9.1.2.4 Erózióbázis megsüllyedése

Ahogy a tanulmányban már több helyen megjelent, a Dráva Drávaszabolcs alatti, torkolati szakaszának folyamatait jelentősen befolyásolja a Duna. Ezáltal a Duna (mint erózióbázis) mederváltozásai aktívan kihatnak a Dráva medrére is (ld. 3.2.4. fejezet).

A Duna érintett szakaszára a dinamikus mederváltozás a jellemző. Magyarország területére fentről hordalékszegény víz érkezik a vízlépcsők miatt, ami medereróziót okoz. A medermélyülési folyamatokat a magyar szakaszon végzett intenzív kotrási tevékenység tovább erősítette. Ezzel szemben az eséscsökkenés következtében természetes feltöltődés jellemző a szakaszra. (DanubeSediment 2019) A Duna magyar-horvát határtól a Vaskapuig tartó szakaszára mindent egybevetve tehát csak enyhe erózió jellemző az utóbbi évszázadban. A Dráva 1,00 fkm-énél (Bijelo Brdo) mért vízállások alapján (ld. 8.3. fejezet, 74. ábra) – noha az idősor helyenként hiányos – szintén dinamikus mederváltozások, s hosszabb távon (1964-2013) pedig medersüllyedés (1,32 cm/év) figyelhető meg.



76. ábra: Mederváltozások a Dunán a magyar-horvát határtól a Vaskapuig, 1920-2017 között (forrás: DanubeSediment 2019) Jelmagyarázat: sárga: feltöltődés, narancs: erózió, zöld nyíl: a Dráva hozzáfolyása (1382,50 fkm)

### 9.1.3 A hatások összegzése

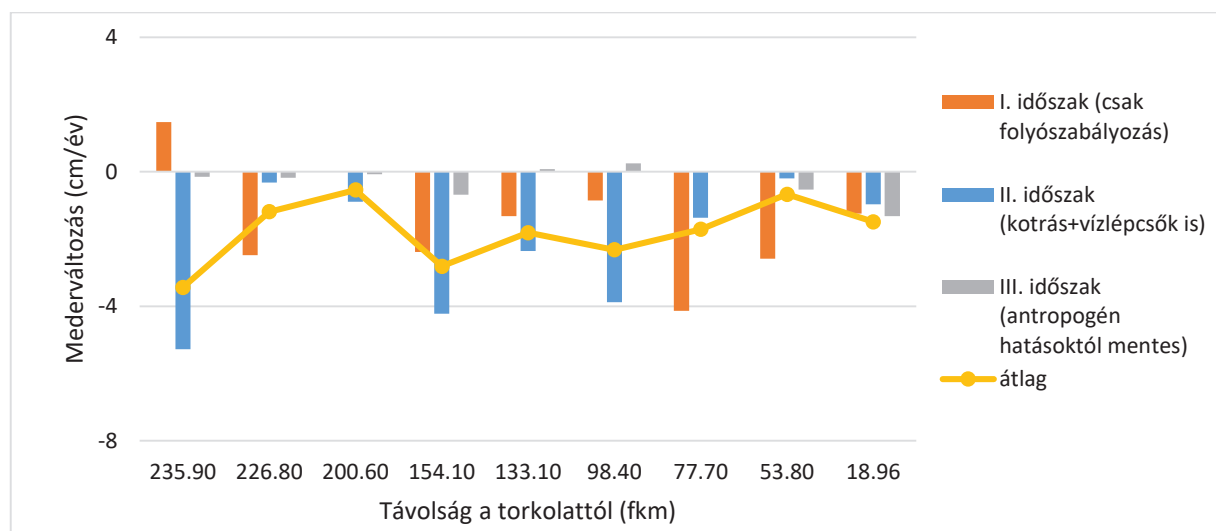
A medersüllyedés egyes antropogén, illetve természetes tényezőinek 9.1.1. és 9.1.2. fejezetekben történt áttekintése alapján kijelenthető, hogy a Dráva medersüllyedésének legfontosabb kiváltó okainak a mederkotrás, a horvát vízlépcsők és a folyószabályozási beavatkozások tekinthetők. A torkolati szakaszon a Duna (mint erózióbázis) mederváltozási folyamatai jelentősen kihatnak a Dráva medrére.

A Dráva-völgy folyamatos tektonikai süllyedéséből adódó bevágódás egy nagyságrenddel kisebb a kimutatott medermélyülésnél, míg a klímaváltozás (és a vele szorosan összefüggő területhasználat) várhatóan csak később okozhat jelentősebb változásokat. A folyómeder oldalirányú mozgása csak a folyószabályozási művekkel együtt okoz medermélyülést.

## 9.2 A folyó medersüllyedési folyamatának elemzése

A 18. század előtt az emberi beavatkozások nem voltak jelentősek, a folyó morfológiája természetesnek volt mondható. A római kor, a középkor és a török uralom idején a Dráva vízgyűjtőjének benépesítése az úthálózat kiépítésével, erdőirtással és mezőgazdasági területek kialakításával járt együtt. Az antropogén hatásokon túl a tektonikai süllyedés és a klímaváltozás hatásai jelentkeztek. Ezen változások vizsgálatára a történelmi adatok hiányában nincs lehetőség.

Az antropogén beavatkozásokat véve kiváltó hatásként, három időszakra osztható a Dráva medersüllyedése folyamata. Az első időszakban (18. sz. vége – 1974) csak folyószabályozási beavatkozások történtek, de azok hatása jelentős volt. A szabályozások következtében megbomlott a természetes egyensúly, s medersüllyedési folyamat indult meg (Petrić et al. 2019). A második időszakban (1975-2002/2011) létesítették a három horvát vízlépcsőt, s párhuzamosan a Dráva medréből intenzív homok- és kavicskitermelés zajlott. Ebben az időszakban már nehezen különíthetők el az egyes tényezők hatásai. A harmadik időszakban (2003/2012-től napjainkig) a kisvízszintek elemzése és a mederfelmérések alapján az a következtetés vonható le, hogy az antropogén hatások megszűnése után szinte a teljes szakaszon kialakulni látszik az új egyensúlyi állapot (77. ábra). Fontos megjegyezni, hogy a kotrások megszűnése óta eltelt 10-20 éves időszak a trendelemzéshez nem feltétlenül tekinthető reprezentatívnak.

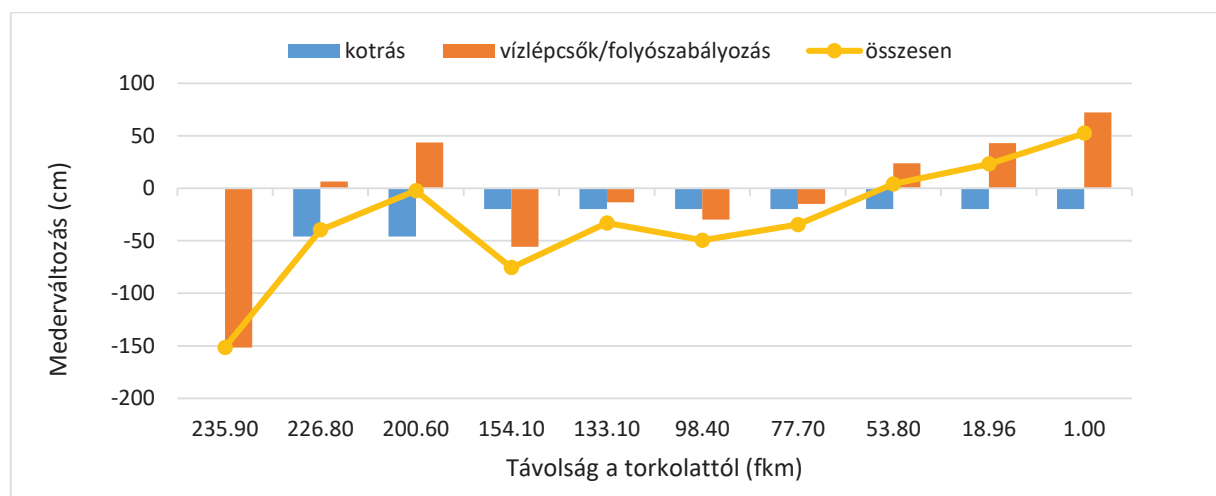


77. ábra: A mederváltozás intenzitásának alakulása a Dráva mentén a hatások alapján meghatározott időszakokban (megjegyzés: az I. és a teljes időszak hossza az egyes állomások esetén a rendelkezésre álló idősorok hosszából adódóan eltérő)

Látható (77. ábra), hogy 1975 előtt (az őrtiloszi szelvény kivételével) a Dráva teljes hosszán kb. 1,0-2,5 cm-rel mélyült évente a meder. A Barcs fölötti szakaszon, ahol főként kanyarulat-átvágásokat és partbiztosításokat végeztek, csak kis mértékű, átlagosan 0,50 cm/év-re becsülhető a medersüllyedés, míg a Barcs alatti, intenzíven szabályozott meder átlagosan 2,08 cm-rel mélyült évente.

A II. időszakban kb. 1990-ig még szintén végeztek folyószabályozási beavatkozásokat (főként fenntartási céllal, de három érett kanyarulatot is átvágtak), de a horvát vízlépcsők üzembe helyezése és a kotrási tevékenység mellett hatásuk vélhetően már nem volt számottevő. Az őrtiloszi kisvízszintek alakulásának elemzése alapján (ld. 7.4. fejezet) úgy tűnik, a varasdi erőmű üzembe helyezésének hatása még nem volt jelentős. A čakoveci erőmű üzembe helyezésének hatására noha intenzív bevágódás (kb. 10,5 cm/év) indult meg, a Dráva válaszába gyors volt és 5-6 éven belül stabilizálódott is. A legjelentősebb hatással a Donja Dubrava-i erőmű üzembe helyezése volt. A vízszintek stabilizálódása egy évtizedig is eltartott, s ezalatt nagyjából 140 cm-rel mélyült a meder (kb. 11,5 cm/év).

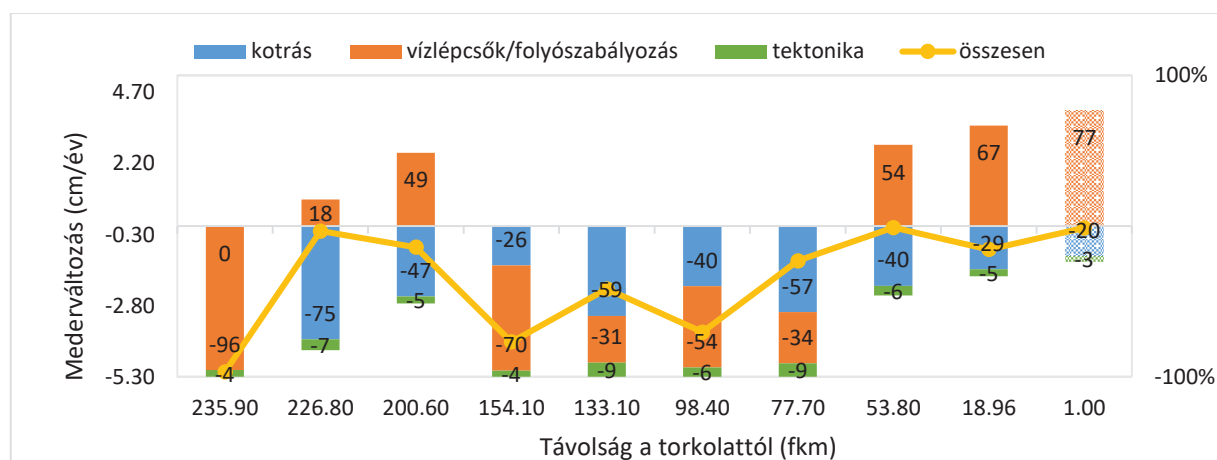
A vizsgált szakasz többi szelvényében 1982 és 2011 között a vízlépcsők üzemelése mellett jelentős kotrási tevékenység is zajlott. A kisvízszintek csökkenése alapján becsült mederváltozásból kivonva a kotrási térfogatok alapján a Barcs fölötti és alatti szakaszra becsült konstans medersüllyedést a Barcs fölötti szakaszon jellemzően a vízlépcsők, a Barcs alatti területen pedig inkább a folyószabályozások hatása becsülhető (78. ábra). Fontos kiemelni, hogy a Drávaszabolcs alatti, torkolati szakaszon a Duna már jelentősen befolyásolja a Dráva folyamatait. A teljes II. időszakban (1975-2002/2011) Barcs fölött átlagosan 80 cm-t, Barcs és Drávaszabolcs között 83 cm-t, a torkolati szakaszon pedig 13 cm-t süllyedt a meder.



78. ábra: A II. időszakban (1982 és 2011 (felső szakasz), illetve 1982 és 2002 (alsó szakasz) között) bekövetkezett mederváltozások alakulása

Az előzőek alapján becsülhető az egyes tényezők hatásának aránya is (79. ábra). A becslések alapján a teljes szakaszon a medermélyülés 39%-a ered a kotrási tevékenységből, 55%-ban az egyéb antropogén hatások (vízlépcsők, folyószabályozás vagy torkolati visszahatás), míg 4%-ban a tektonikai mozgások tehetőek felelőssé. A felső szakaszon az őrtiloszi szelvényben feltehetőleg csak a vízlépcsők hatásai jelentkeznek, míg Botovo és Barcs között átlagosan 61%-ban a kotrási tevékenység, 33%-ban a vízlépcsők és a folyószabályozások okozhatták a medermélyülést. A Barcs-Drávaszabolcs szakaszon a homok kitermeléséből és a vízlépcsők/folyószabályozási beavatkozásokról eredő medersüllyedés aránya közel azonos arányú (46% kotrás, 47% vízlépcsők/folyószabályozás). Drávaszabolcs alatt már

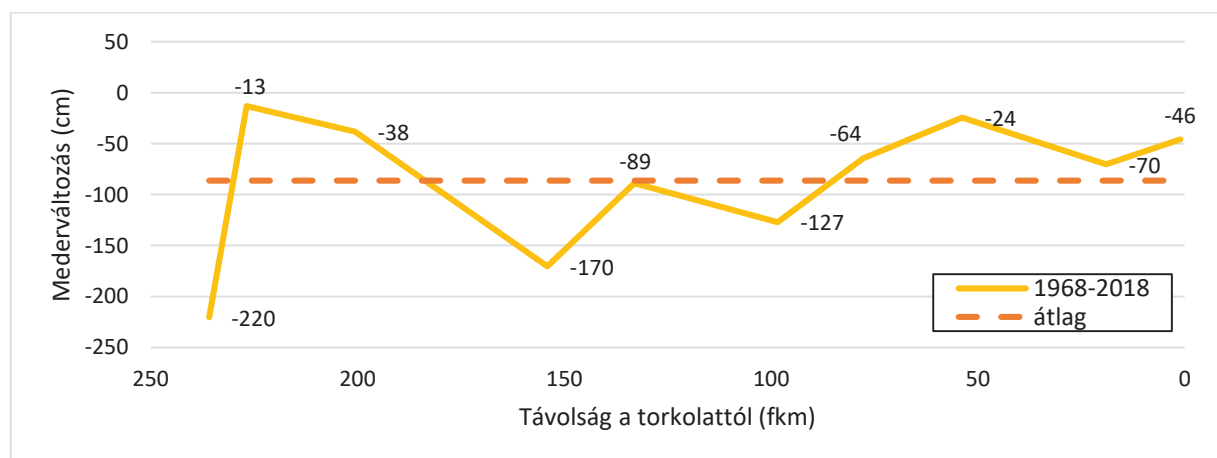
fokozatosan csökken a kotrásból feltételezhető (megjegyzés: a Drávaszabolcs alatti szakaszon végzett kotrásokról nincs adat) medermélyülés aránya (átlagosan 29%). A Dráva-völgy tektonikai süllyedése a teljes medersüllyedés 5%-át teszi ki. A vízlépcsők hatása itt már nem érződhet, így a fennmaradó 66% főként a folyószabályozások hatásából, valamint a Duna befolyásából tevődik össze.



79. ábra: A mederváltozás mértéke (sárgával), illetve a kotrás és a vízlépcsők (valamint egyéb hatások) okozta medersüllyedés százalékos aránya a II. időszakban (1975 és 2011 (felső szakasz), illetve 1975 és 2002 (alsó szakasz) között) (megjegyzés: a torkolati állomás külön jelölése az adatok hiányosságára jelöl; adathiányos évek: 1991-2000)

Miután az 1990-es évek óta nem végeztek jelentősebb folyószabályozási beavatkozásokat, a kotrási tevékenységet 2011-ben beszüntették, s a legutoljára üzembe helyezett Donja Dubrava-i vízlépcső által okozott változásokra is megszűnt már a Dráva válaszdása (7.4. fejezet), a Dráva medrének stabilizálódása várható. Az, hogy a kisvízszintek elemzése alapján a III., antropogén hatások nélküli időszakban az Őrtilos-Drávaszabolcs szakaszon már csak 0,11 cm/év volt a medersüllyedés, alátámasztja ezt a feltételezést, hiszen ez a Joó (1992) által a Dráva-völgy területére meghatározott 1-2 mm/év tektonikai süllyedés értékével egyenlő.

Az 1968-2018 közötti időszakra mind a 10 állomásról rendelkezésre álltak a vízállás-idősorok. Ebben az időszakban 86 cm medersüllyedés következett be a teljes szakaszon (80. ábra). A legintenzívebb medermélyülés a horvát vízlépcsőkhöz (különösen a Donja Dubrava-i) legközelebb, Őrtilosnál következett be (220 cm, 4,32 cm/év). A medersüllyedés üteme a torkolat felé egyre csökkent, Barcsnál 170 cm-t (3,33 cm/év), Drávaszabolcsnál már csak 64 cm-t (1,25 cm/év) mélyült a meder.

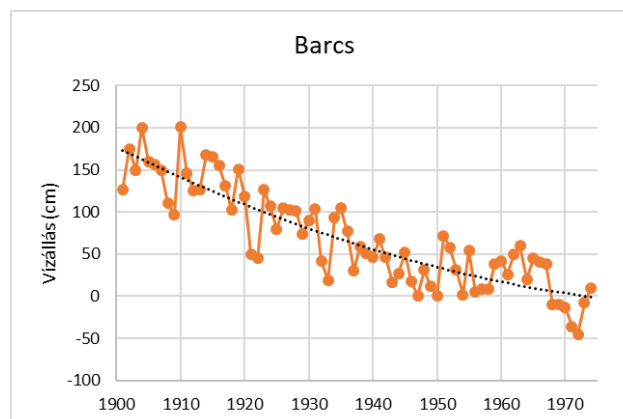


80. ábra: A Dráván 1968-2018 között bekövetkezett mederváltozás hossz-szelvénye

### 9.3 Következtetések, javaslatok

Az alábbiakban a Dráva mederváltozásával kapcsolatos legfontosabb következtetéseket szöveges formában közöljük:

- A 19. századi kanyarulat-átvágások hatására a folyó hossza mintegy 40%-kal csökkent, a sarkantyúk, a partbiztosítások és a szabályozási célú kotrások lokális jelleggel mederszűkítést és medermélyülést okoztak. A Dráva medre a Barcs fölötti szakaszon átlagosan 1,2 métert, a Barcs alatti szakaszon kb. 1,4 métert mélyült, a teljes szakaszra nézve pedig átlagosan 1,3 métert mélyült 1900-2020 között, vagyis az elmúlt kb. 120 év alatt.
- A hosszú idejű kisvízszint elemzések alapján bemutatható volt, hogy a 18. sz. végén megkezdett hagyományos folyószabályozási beavatkozások a meder intenzív mélyülését eredményezték, amelynek mértéke a vízlépcsők üzembe helyezése és a kotrások megkezdése előtti időszakban a Barcs fölötti szakaszon átlagosan kb. 0,50 cm/év, a Barcs alatti szakaszon kb. 2 cm/év.
- A vízfelszín területe 1882 és 2007 között folyamatosan, közel a felére csökkent, ezzel párhuzamosan a meder átlagos szélessége is 1,8-3,6 m/év ütemben, több mint a felére csökkent. A medermorfológia e két jellemzője változásának hatására a formakincs egyszerűsödött, a meder egyre egységesebbé vált.
- A rendszeres folyószabályozási beavatkozások hatása időben elnyúló volt, de folyamatosan mérséklődő, ami jól láthatóan egy új egyensúlyi állapot eléréséhez tartott egészen addig, amíg a horvát szakaszon üzembe helyezték a vízlépcsőket és megkezdődtek az intenzív mederkotrás munkák a '80-as évek elején (81. ábra).



81. ábra: A barcsi éves kisvízállás értékek alakulása a vízlépcsők üzembe helyezése előtti időszakban

- A kotrási adatok alapján az 1982-2011 közötti időszakban, amikor a legintenzívebb kavics- és homokkitermelés folyt a Dráván, a kikutort hordaléktérfogat értékek alapján, a folyó Barcs fölötti és alatti szakaszára vetítve átlagosan kb. 1,2 cm/év (Barcs fölött) és kb. 0,6 cm/év (Barcs alatt) az a medermélyülési tendencia, amit a kotrás váltott ki.
- A horvát vízlépcsők közül a legjelentősebb hatást a Donja Dubrava-i erőmű üzembe helyezése okozta. Órtilosnál a vízszintek stabilizálódása egy évtizedig is eltartott, s ezalatt (1989-2000) nagyjából 140 cm-rel mélyült a meder (kb. 11,5 cm/év).
- A Dráva természetes állapotában a felső szakaszon a szigetek nagy száma miatt több ágra szakadó (így szélesebb), fonatos meder volt a jellemző, majd a vízerőművek hatására a fonatosság mértéke lényegesen csökkent, egységesebbé vált a meder, kanyargós mintázata azonban megmaradt. A vízerőművek által jelentősen módosított vízjárás hatására csökkent a szigetek száma és területe, a meder pedig intenzív ütemben szűkült.



- Az őrtilos környéki szakaszon volt a legjelentősebb a horvát vízlépcsők hatása, innen alvízi irányban már inkább a kotrási tevékenység determinálta a folyómeder mélyülését a 80'-as évektől kb. 2010-ig. Becsléseink szerint a kotrás ebben az időszakban a medermélyülés kb. 50 százalékaért felel, a másik 50%-ért a vízlépcsők által visszatartott hordalék hiánya és a további lokális beavatkozások felelősek.
- A 2010-es évek elejétől, a kotrási tevékenység megszűnése után a meder mélyülése jórészt megszűnt, a kismértékű, 0,1 cm/év körüli mélyülő tendencia egybeesik a tektonikai mozgások alapján becsült értékkel. Rövidebb szakaszokon, jellemzően ott, ahol korábban intenzív kotrási tevékenységet folytattak, a morfodinamikai folyamatok sajátosságai miatt továbbra is jelentkezik medereróziós hatás, ami jelenleg is tart, mértéke pedig folyamatosan csökken.

Fontos megjegyezni, hogy a kotrások megszűnése óta eltelt 10-20 éves időszak a trendelemzéshez nem feltétlenül tekinthető reprezentatívnak. Emellett a rendelkezésre álló mederfelmérések feldolgozása (ld. 4. és 8.1. fejezet) rámutatott arra, hogy a mederváltozások megbízható, jövőbeni monitorozásához, elemzéséhez nagyobb időbeli felbontású, s összeegyeztethető (pl. módszer, felmérési helyszín tekintetében) mederfelmérésekre lenne szükség.

Noha a Dráva medersüllyedési folyamata megállni látszik, az elmúlt kb. 120 évben az antropogén beavatkozások eredményeként a természetes állapothoz képest jelentős változások következtek be. A meder átlagosan 1,20 m-rel süllyedt, s az eredetileg igen gazdag formakincs is elszegényedett. A mederszint süllyedése magával vonta a talajvízszintek csökkenését is, amely problémát okoz a környező területek vízellátásában (pl. a mezőgazdasági öntözésben vagy a természetvédelmi szempontból is jelentős Cún-Szaporca-holtágrendszer feltöltésében kisvízkor).

Éppen ezért szükséges feltárni a természetes állapothoz való visszatérés, s a medersüllyedés hatására bekövetkezett káros változások visszafordításának lehetőségeit. A tanulmányban bemutatottak alapján az antropogén beavatkozások és a rájuk adott válaszok alapvetően a helyi hidromorfológiai tulajdonságoknak megfelelően történtek. Ezek ismeretében a beavatkozási javaslatokat célszerű az alábbi három szakaszra külön megfogalmazni:

- Az **Őrtilostól Barcsig** tartó szakaszon a mederesés nagyobb, mint a Barcs alatti szakaszon, kisebb mértékű hagyományos folyószabályozás történt, a formakincs gazdagabb. A mederanyag jellemzően kavics, kavicsos homok, amelynek építőipari közkedveltsége miatt intenzív kotrási tevékenység is zajlott, amellyel csak a közelmúltban (2011) hagytak fel. Emellett ez a szakasz a leginkább kitett a felvízen létesített horvát vízlépcsők hatásának is. A mederfelmérések elemzése alapján a kotrási helyszínekről megindult al- és felvízi irányú bevágódás kismértékben még ma is kimutatható.
- A **Barcstól Drávaszabolcsig** tartó, kisebb esésű szakasz szinte teljes mértékben szabályozott medrű, kanyargóssága ezáltal kisebb, mint a felső szakaszé. A jelentős folyószabályozási tevékenység mellett ezen a homokmedrű szakaszon is folyt ipari célú kotrási tevékenység, de jóval kevesebb térfogatot termeltek ki, s előbb (2002) is felhagytak vele. A folyószabályozási beavatkozások fenntartása már a világháborúk idején abbamaradt, s azóta sem történt fontosabb beavatkozás. Így az utóbbi 20 évben az antropogén beavatkozásoktól mentes, magára hagyott mederben új egyensúlyi állapot alakulhatott ki.
- A **Drávaszabolcstól a torkolatig** tartó szakasz folyamatait már jelentősen befolyásolja a Duna. A megfelelő hajózási útvonal biztosítása érdekében teljesen szabályozott a meder, (legális) kotrási tevékenységről nincs információ.

A jelen szakértői anyagban bemutatott elemzések, a megbízásnak megfelelően a Dráva morfológiai változásának számszerűsítésére összpontosítottak, és igyekeztek felhasználni minden elérhető múltbeli hidrológiai és morfológiai mérés és elemzés adatait. Világosan látszik, hogy a levonható következtetések egy része olyan megközelítésekkel él, amely a szerzők szakmai tapasztalatára, elméleti és gyakorlati tudására épít. Ahhoz, hogy a Dráva áramlási, morfológiai, hordalékvándorlási folyamatainak és ezen fizikai jellemzők biotikus jellemzőkkel való kölcsönhatásának alakulását feltárjuk, a jövőben célirányos vizsgálatokra van szükség. A napjainkban elérhetővé vált, korszerű, innovatív folyómérnöki vizsgálati módszerek biológiai vizsgálatokkal való összekapcsolása korábban nem feltárt és nem ismert folyamatokra mutathat rá, amelyeken keresztül jövőbeli beavatkozások megalapozása a korábbi vizsgálati eszközökhöz képest jelentősen nagyobb megbízhatósággal hajthatók végre. A teljesség igénye nélkül, rövid pontokba szedve mutatunk rá néhány olyan módszerre, amelyeket a jövőbeli vizsgálatokra javaslunk:

- **Mederdomborzat vizsgálatok:** többsugaras mederfelmérési módszer (MBES) alapján évenkénti mederfelmérés, ami alapján a morfológiai változások nagypontossággal és részletességgel tárhatók fel.
- **Hordalékmérések:** folyamatos lebegtetett hordalékmonitoring körültekintően megválasztott keresztshelvényekben, optikai vagy akusztikus eljárással, amelyet részletes fizikai mintázásokon keresztül kalibrálnak; görgetett hordalékmérés direkt, fizikai mintázással és új, MBES alapú mederfelmérések alapján.
- **Zavartalan mederanyag vizsgálatok:** a folyómeder fizikai összetételének vizsgálata zavartalan mintavételi eljárásokkal, pl. fagyasztásos módszerrel, amely alapján a felszíni és közvetlen felszín alatti rétegek szemcseösszetétele feltárható és a mederpáncél jelenléte kimutatható.
- **Összekapcsolt abiotikus és biotikus mérések:** egy-egy reprezentatív szakaszra végzett, kampányszerű mérések, amelyek kiterjednek a hidromorfológiai jellemzőkre (mederanyag, mederdomborzat, áramlási sebesség, hordalékvándorlás) és a biológiai jellemzőkre (különböző halfajok, makrogerinctelenek előfordulása, fenéklakó élőlények állapota, mikroorganizmusok jelenléte, hullámtéri növényzet alakulása)
- **Modellezés:** szofisztikált számítógépes modellezési eszközökkel feltárhatók akár tervezett beavatkozások mederalakra kifejtett hatása, sőt hozzákapcsolt ún. élőhely-hidraulikai modellvizsgálatokkal a környezeti hatások is értékelhetővé válnak. A számítógépes szimulációk mellett a fizikai kisminta-modellezési eljárások is nagyban segíthetik a folyamatok megértését.

## 10 Irodalomjegyzék

- Alföld-Planum Kultúrmérnöki Kft. (2014) Sebes-Körös Nagyvízi Mederkezelési Terv (12.NMT.01 Sebes-Körös országhatár – Kettős-Körös torkolat között) (Letöltve: 2020. május 29.)
- Andrási G. (2015) A Dráva horvát-magyar szakaszán a vízjárás és a mederdinamika vizsgálata. Doktori értekezés. Szegedi Tudományegyetem, Szeged.
- Andrási G.; Kiss T. (2013) Szigetek változásai a Dráva Mura és Duna közötti szakaszán. *Hidr. Közl.*, 93(1), 35-40.
- Ashmore, P.; Church, M. (2001) The impact of climate change on rivers and river processes in Canada. *Bull. - Geol. Surv. Can.*, 555, 58 pp. DOI: 10.4095/211891
- Beseníc, B. (2017) Antropogeni zahvati u fluvijalnom reljefu i njihov utjecaj na oblikovanje korita rijeke Drave od Botova do Ferdinandovca u 19. i 20. stoljeću. *Podravski zbornik*, 43(8), 215-222.
- Blanka V. (2010) Kanyarulatfejlődés dinamikájának vizsgálata természeti és antropogén hatások tükrében. Doktori értekezés. Szegedi Tudományegyetem, Szeged.
- BME (2019) Dráva hordalékmérés és morfológiai értékelés. Magyar nyelvű projektjelentés.
- Bogárdi J. (1942) Hordalékmozgás a folyószabályozásban. *Vízügyi Közl.*, 24(3-4) 207-265.
- Bogárdi J. (1971) Vízfolyások hordalékszállítására. Akadémiai Kiadó, Budapest. 837 pp.
- Bognar, A. (2008) Geomorfološka obilježja korita rijeke Drave i njenog poloja u širem području naselja Križnica. *Hrvatski geografski glasnik*, 70(2), 49-71.
- Bonacci, O.; Oskoruš, D. (2010) The changes in the Lower Drava River water level, discharge and suspended sediment regime. *Environ. Earth Sci.*, 59, 1661-1670. DOI: 10.1007/s12665-009-0148-8
- Bonacci és Oskoruš (2019) Human Impacts on Water Regime. In: Lóczy (Ed.) *The Drava River*, Springer Geography, Chapter 9, pp. 125-138. ISBN 978-3-319-92816-6
- Bonacci, O.; Tadic, Z.; Trinivic, D. (1992) Effects of dams and reservoirs on the hydrological characteristics of the Lower Drava River. *Regul. Rivers: Res. Manage.*, 7, 349-357. DOI: 10.1002/rrr.3450070405
- Brandt, S.A. (2000) Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40(4), 375-401. DOI: 10.1016/S0341-8162(00)00093-X
- Burián A.; Domány A. (2019) Antropogén hatások vizsgálata a Drávai vízállásokra. *Drávától a Balatonig*, 2, 11-19.
- Burián, A.; Horváth, G.; Márk, L. (2019) Channel Incision Along the Lower Drava. In: Lóczy (Ed.) *The Drava River*, Springer Geography, Chapter 10, pp. 139-156. ISBN 978-3-319-92816-6
- Carević, D.; Kuspilić, N.; Bekić, D. (2008) Evolution of the river cut-off. International Conference on Hydro-Science and Engineering (ICHE-2008), 8-12 September 2008, Nagoya, Japan. DOI: 10.13140/2.1.3377.2168
- Csuka J. (1971) A II. tiszai vízlépcső hatása a hordalék- és mederviszonyokra. *Vízügyi Közl.*, 53(1), 74-81.

Dadić, T.; Tadić, L., Bonacci, O. (2015) Utjecaj Drave i Dunava kroz po vijest na pop lave u Osijeku. *Hrvatske vode*, 23(94), 287-294.

DanubeSediment (2019) Long-term Morphological Development of the Danube in Relation to the Sediment Balance. Angol nyelvű projektjelentés. Hozzáférés: [http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved\\_project\\_output/0001/39/6299a3c18cf54d8ef7e02150844e27358da8038d.pdf](http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/39/6299a3c18cf54d8ef7e02150844e27358da8038d.pdf) (Letöltve: 2020. május 25.)

DDVIZIG (2014a) Dráva folyó Nagyvízi Mederkezelési Terv (05.NMT.01 Órtilos Államhatár 236 fkm – Barcs szakaszhatár 154,1 fkm) (Letöltve: 2020. április 27.)

DDVIZIG (2014b) Dráva folyó Nagyvízi Mederkezelési Terv (05.NMT.02 Barcs szakaszhatár 154,1 fkm – Drávaszabolcs országhatár 70,2 fkm) (Letöltve: 2020. április 27.)

DDVIZIG (2014c) Jelentős vízgazdálkodási kérdések a „Dráva” részvízgyűjtő területén. Hozzáférés: [http://vizeink.hu/wp-content/uploads/2020/05/Drava\\_reszvizgyujto\\_JVK.pdf](http://vizeink.hu/wp-content/uploads/2020/05/Drava_reszvizgyujto_JVK.pdf) (Letöltve: 2020. április 21.)

DDVIZIG (2016) Dráva részvízgyűjtő - Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv – 2015.

EJF (2012) A Dráva morfológiai monitoringja – Hordalékvizsgálat. Magyar nyelvű projektjelentés.

Fiala K.; Sipos Gy.; Kiss T. (2006) Szabályozások hatására bekövetkező morfológiai változások a Tisza és a Maros alsó szakaszán. n Kiss A., Mezősi G., Sümegei Z. (szerk): Táj, környezet és társadalom. 203-213.

Gábris, Gy.; Nádor, A. (2007) Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis. *Quatern. Sci. Rev.*, 26(22-24), 2758-2782. DOI: 10.1016/j.quascirev.2007.06.030

Galay, V.J. (1983) Causes of River Bed Degradation. *Water Resour. Res.*, 19(5), 1057-1090. DOI: 10.1029/WR019i005p01057

Goda, L.; Kalocsa, B.; Tamás, E.A. (2007) Riverbed erosion on the Hungarian section of the Danube. *JESSS*, 1, 47-54. DOI: 10.3107/jesss.1.47

Goudie, A.S. (2006) Global warming and fluvial geomorphology. *Geomorphology*, 79(3-4), 384-394. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.06.023

Gregory, K.J. (2006) The human role in changing river channels. *Geomorphology*, 79(3-4), 172-191. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.06.018

Gregory, K.J.; Davis, R.J.; Downs, P.W. (1992) Identification of river channel change to due to urbanization. *Appl. Geogr.*, 12(4), 299-318. DOI: 10.1016/0143-6228(92)90011-B

Greimel F. et al. (2018) Hydropeaking Impacts and Mitigation. In: Schmutz S., Sendzimir J. (eds) Riverine Ecosystem Management. *Aquatic Ecology Series*, vol 8. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_5)

György B.; Burián A. (2005) Történeti áttekintés a Dráva vízepítési munkáiról. *Hidrl. Tájékoztató*, 45(1), 32-34.

Habersack, H. Végh, M. (2009) Assessment of a complaint about destruction of the natural values of the Drava River in Croatia. Angol nyelvű projektjelentés. Hozzáférés: <http://www.amazon-of->

[europe.com/de/view/files/download/forceDownload/?tool=12&feld=download&sprach\\_connect=41](http://europe.com/de/view/files/download/forceDownload/?tool=12&feld=download&sprach_connect=41)  
(Letöltve: 2020. május 27.)

Hawley et al. (2013) Bed coarsening, riffle shortening, and channel enlargement in urbanizing watersheds, northern Kentucky, USA. *Geomorphology*, 201, 111-126. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.06.013

HEP Group (2020) Annual and Sustainability Report. Angol nyelvű jelentés. Hozzáférés: [https://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti//HEP\\_2019\\_Annual\\_Sustainability.pdf](https://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti//HEP_2019_Annual_Sustainability.pdf) (Letöltve: 2020. június 05.)

Holbrook, J.; Schumm, S.A. (1999) Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings. *Tectonophysics*, 305(1-3), 287-306. DOI: 10.1016/S0040-1951(99)00011-6

Hooke (1995) River channel adjustment to meander cutoffs on the River Bollin and River Dane, northwest England. *Geomorphology* 14(3), 235-253. DOI: 10.1016/0169-555X(95)00110-Q

Huang, M-W.; Pan, Y-W.; Liao, J-J. (2013) A case of rapid rock riverbed incision in a coseismic uplift reach and its implications. *Geomorphology*, 184, 98-110. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.11.022

Huang, M-W.; Liao, J-J.; Pan, Y-W.; Cheng, M-H. (2014) Rapid channelization and incision into soft bedrock induced by human activity — Implications from the Bachang River in Taiwan. *J. Eng. Geol.*, 177, 10-24. DOI: 10.1016/j.enggeo.2014.05.002

Huđek, H.; Žganec, K.; Pusch, M.T. (2020) A review of hydropower dams in Southeast Europe – distribution, trends and availability of monitoring data using the example of a multinational Danube catchment subarea. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 117, 109434. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109434

Inno-Water (2014) Conceptual overview of the revitalization options for the side-arm system of Vízvár-Bélavár. Angol nyelvű projektjelentés. Hozzáférés: [http://www.danubeparks.org/files/1985\\_Drava\\_vizvar\\_revitalization\\_ENG.pdf](http://www.danubeparks.org/files/1985_Drava_vizvar_revitalization_ENG.pdf) (Letöltve: 2020. május 29.)

Joó, I. (1992) Recent vertical surface movements in the Carpathian Basin. *Tectonophysics*, 202(2-4), 129-134. DOI: 10.1016/0040-1951(92)90091-J

Károlyi Z. (1960) A hordalékmozgás jellegzetességei folyók medrében. *Földr. Ért.*, 9, 90-95.

Keesstra, S.D.; van Huissteden, J.; Vandenberghe, J.; Van Dam, O.; de Gier, J.; Pleizier, I.D. (2005) Evolution of the morphology of the river Dragonja (SW Slovenia) due to land-use changes. *Geomorphology*, 69(1-4), 191-207. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.01.004

Kiss T.; András G. (2011) A horvátországi duzzasztógáták hatása a Dráva vízjárására és a fenékhordalék szemcseösszetételének alakulására. *Hidr. Közl.*, 91(5), 17-29.

Kiss T. (2014) Fluviális folyamatok antropogén hatásra megváltozó dinamikája: egyensúly és érzékenység vizsgálata folyóvízi környezetben. Doktori értekezés. Szegedi Tudományegyetem, Szeged.

Kiss T.; András G. (2015) Kanyarulatfejlődés sajátosságai és antropogén hatások vizsgálata két drávai kanyarulat példáján. *Tájökológiai Lapok*, 13(1), 73-88.

Kiss, T.; András G. (2017) Hydro-morphological responses of the Dráva River on various engineering works. *Ekonomika- i Ekohistorija*, 13(13), 14-24.



- Kiss, T.; Balogh, M. (2015) Characteristics of Point-Bar Development under the Influence of a Dam: Case Study on the Dráva River at Sigetec, Croatia. *J. Eng. Geo.*, 8(1-2), 23-30. DOI: 10.1515/jengeo-2015-0003
- Kiss, T.; Blanka, V. (2012) River channel response to climate- and human-induced hydrological changes: Case study on the meandering Hernád River, Hungary. *Geomorphology*, 175-176, 115-125. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.07.003
- Kiss T.; Nagy Z. (2012) A Maros medrének aktív bevágódása és ennek morfológiai következményei az ártéren. *Hidr. Közl.*, 92(2), 19-23.
- Kiss, T.; Fiala, K.; Sipos, Gy. (2008) Alterations of channel parameters in response to river regulation works since 1840 on the Lower Tisza River (Hungary). *Geomorphology*, 98(1-2), 96-110. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.02.027
- Kiss T.; András G.; Hernesz P. (2011) Morphological alteration of the Dráva as the result of human impact. *AGD Landscape & Environment*, 5(2), 58-75.
- Kondolf, G.M. (1994) Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landsc. Urban. Plan.*, 28(2-3), 225-243. DOI: 10.1016/0169-2046(94)90010-8
- Kondolf, G.M. (1997) Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels, *Environ. Manage.*, 21(4), 533-551. DOI: 10.1007/s002679900048
- Kondolf, G.M.; Piégaym H.; Landon, N. (2002) Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments. *Geomorphology*, 45(1-2), 35-51. DOI: 10.1016/S0169-555X(01)00188-X
- Kulej, T. (2019) Geomorfološke promjene korita Drave od Repaša do Ferdinandovca. Horvát nyelvű MSc diplomamunka. Hozzáférés: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/pmf:5697/preview> (Letöltve: 2020. május 19.)
- Lach, J.; Wyźga, B. (2002) Channel incision and flow increase of the Upper Wisłoka River, Southern Poland, subsequent to the reafforestation of its catchment. *Earth Surf. Process. Landf.*, 27, 445–462. DOI: 10.1002/esp.329
- Landon, N.; Piégay, H.; Bravard, J.P. (1998) The Drôme river incision (France): from assessment to management. *Landsc. Urban. Plan.*, 43(1-3), 119-131. DOI: 10.1016/S0169-2046(98)00046-2
- Lane, E. W. (1955) The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 81(7), 1-17.
- Leopold, L.B.; Wolman, M.G.; Miller, J.P. (1964) *Fluvial Processes in Geomorphology*, San Francisco, W.H. Freeman and Co., 544 p. ISBN 0486685888
- Lieb, G.K.; Sulzer, W. (2019) Land Use in the Drava Basin: Past and Present. In: Lóczy (Ed.) *The Drava River*, Springer Geography, Chapter 3, 27-44. ISBN 978-3-319-92816-6
- Liébault et al. (2005)
- Lóczy, D. (2019) Climate and Climate Change in the Drava-Mura Catchment In: Lóczy (Ed.) *The Drava River*, Springer Geography, Chapter 4, pp. 45-60. ISBN 978-3-319-92816-6
- Lovász Gy. (1967) A szerkezeti viszonyok hatása a Dráva és a Muravölgy esésgörbéjére, illetve a nagyobb mellékfolyók mechanizmusára. *Hidr. Tájékoztató*, 7(2), 42-47.

- Majorlaki J. (1976) A Dráva vízgazdálkodásának és környezetvédelmének adottságai és fejlesztési feladatai. *Vízügyi Közl.*, 58(1). 41-58.
- Mantuánó J. (1974) A Dráva vízjárásának vizsgálata. *Vízügyi Közl.*, 56(3), 368-401.
- Matica, M.; Turinski, M. (2013) Integrirano upravljanje rijekom Dravom. *Podravski zbornik*, 39(5), 19-28.
- Mohl, A. (2008) Status and Future Perspectives of the Drava River Basin. International Symposium „DRAVA RIVER VISION”, 23-25 September 2008, Maribor, Slovenia.
- Neal, E.G. (2007) Channel incision and water-table decline along a recently formed proglacial stream, Mendenhall Valley, southeastern Alaska. In Haeussler, P.J.; Galloway, J.P.: *Studies by the U.S. Geological Survey in Alaska*, 2007. U.S. Geological Survey Professional Paper 1760-E, 15 p.
- Ouchi, S. (1985) Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *GSA Bull.*, 96(4), 504-515. DOI: 10.1130/0016-7606(1985)96<504:ROARTS>2.0.CO;2
- OVF (2015) A Duna-vízgyűjtő magyarországi része – Vízyűjtő-gazdálkodási Terv – 2015.
- Petrić, H.; Tamás, E.A., Lóczy, D. (2019) Flood History and River Regulation. In: Lóczy (Ed.) *The Drava River*, Springer Geography, Chapter 8, pp. 105-124. ISBN 978-3-319-92816-6
- Petrovszki J. (2013) A Pannon-medence meanderező vízfolyásainak kanyarfelettség elemzése-neotektonikai és folyódinamikai következtetések. Doktori értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Popovič, I.; Mikuska, T. (2010) The Drava River – a flowing controversy. *Danube Watch*, 1, 14-15.
- Rákóczi L. (1989) Vízlepcsők hatása a hordalék- és mederszponyokra. *Vízügyi Közl.*, 71(1), 5-24.
- Rákóczi, L.; Szekeres, J. (2000) Environmental effects of dredging on alluvial riverbeds. International Symposium „DRAVA RIVER VISION”, 23-25 September 2008, Maribor, Slovenia.
- Remenyik B. (2004) A Dráva szabályozása a XVIII.századtól a XX.század végéig. In: *A magyar földrajz kurrens eredményei* (II. Magyar Földrajzi Konferencia kiadványa. ISBN: 963-482-687-3). 1458-1484.
- Remenyik B. (2006) A Dráva-szabályozás története és a folyó hasznosítási lehetőségei. Doktori értekezés. Pécsi Tudományegyetem, Pécs.
- Rumsby, B.T.; Macklin, M.G. (1994) Channel and floodplain response to recent abrupt climate change: the Tyne basin, Northern England. *Earth Surf. Proc. Landf.*, 19(6), 499-515. DOI: 10.1002/esp.3290190603
- Schmidt J. (2007) Vízérőművek a Dráván. *Hidr. Közl.*, 87(1), 19-27.
- Schumm (1977) *The Fluvial System*. John Wiley & Sons, New York, 338 p. ISBN-13: 978-1930665798
- Schumm, S.A.; Khan, H.R. (1972) Experimental Study of Channel Pattern. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83(6), 1755-1770. DOI: 10.1130/0016-7606(1972)83[1755:ESOCPL]2.0.CO;2
- Schumm, S. A. (1986) Alluvial River Response to Active Tectonics. In: *Active Tectonics. Studies in Geophysics*. ISBN 0-309-03638. National Academy Press, Washington, D.C., pp. 80-94.
- Schwarz (2007)

- Schwarz, U. (2019) Hydromorphology of the Lower Drava In: Lóczy (Ed.) *The Drava River*, Springer Geography, Chapter 5, pp. 61-78. ISBN 978-3-319-92816-6
- Sipos Gy. (2006) A meder dinamikájának vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. Doktori értekezés. Szegedi Tudományegyetem, Szeged.
- SOLVEX-BME Konzorcium (2014a) Duna Nagyvízi Mederkezelési Terv (01.NMT.01 Duna államhatár 1850,20 fkm – Ásványráró – Győrzámoly 1809,76 fkm) (Letöltve: 2020. május 29.)
- SOLVEX-BME Konzorcium (2014b) Duna Nagyvízi Mederkezelési Terv (01.NMT.02 Duna 1809,76 – 1786,00 fkm) (Letöltve: 2020. május 29.)
- SOLVEX-BME Konzorcium (2014c) Duna Nagyvízi Mederkezelési Terv (01.NMT.03 Duna 1786,00 – 1729,35 fkm) (Letöltve: 2020. május 29.)
- SOLVEX-BME Konzorcium (2014d) Duna Nagyvízi Mederkezelési Terv (01.NMT.04 Duna 1729,35 – 1699,50 fkm) (Letöltve: 2020. május 29.)
- SOLVEX-BME Konzorcium (2014e) Mosoni-Duna Nagyvízi Mederkezelési Terv (01.NMT.06 Mosoni-Duna 118,36 fkm – Duna 1793,65 fkm) (Letöltve: 2020. május 29.)
- SOLVEX-BME Konzorcium (2014f) Rába Nagyvízi Mederkezelési Terv (01.NMT.09 Rába 54,67 fkm – Mosoni-Duna 14,75 fkm) (Letöltve: 2020. június 2.)
- SOLVEX-BME Konzorcium (2014g) Mura Nagyvízi Mederkezelési Terv (06.NMT.03 Muraszemenye Kerka torkolat 49,673 – Örtilos Dráva torkolat 0,00 fkm) (Letöltve: 2020. július 26.)
- Somogyi (1997): Nagy folyóink magyarországi szakaszai. In: Karátson D. (Ed.) *Magyarország földje*. KERTEK 2000 Könyvkiadó, Budapest. pp. 245-249.
- Surian; N. (1999) Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy. *Earth Surf. Process. Landf.*, 24(12) 1135-1151. DOI: 10.1002/(SICI)1096-9837(199911)24:12<1135::AID-ESP40>3.0.CO;2-F
- Surian, N.; Rinaldi, M. (2003) Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50(4), 307-326. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00219-2
- Szerdahelyi Z. (1982) A Mura folyó szabályozása. *Vízügyi Közl.*, 64(2), 256-269.
- Timár G. (2003) Földtani folyamatok hatása a Tisza alföldi szakaszának medermorfológiájára. Doktori értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Timár G. (2005) Az alluviális folyók alaktípusai és a típusok kialakulásának feltételei. Irodalmi áttekintés és gyakorlati következtetések. *Hidr. Közl.*, 85(1), 1-10.
- VITUKI (2003) A Dráva hordalékjárásának vizsgálata a legfrissebb adatok figyelembevételével. Összefoglaló jelentés.
- VITUKI (2014a) Duna Nagyvízi Mederkezelési Terv (02.NMT.02 Duna Budapest déli közigazgatási határa 1628,450 fkm – Tassi-zsilip 1586,000 fkm) (Letöltve: 2020. május 29.)
- VITUKI (2014b) Ipoly Nagyvízi Mederkezelési Terv (02.NMT.05 Ipolytarnóc (államhatár) 148,5 fkm – Hont (országhatár) 60,04 fkm) (Letöltve: 2020. május 29.)
- VIZITERV Consult Kft. (2014) A Tisza-folyó Csongrád – Országhatár közötti szakaszának Nagyvízi Mederkezelési Terv (11.NMT.01 Tisza 159,600 – 253,800 fkm) (Letöltve: 2020. május 29.)

VKKI-DDVIZIG (2015a) A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása. Vízyűjtő-gazdálkodási Terv. 3-2 Rinya-mente.

VKKI-DDVIZIG (2015b) A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása. Vízyűjtő-gazdálkodási Terv. 3-3 Fekete-víz.

VKKI-NYUDUVIZIG (2010) A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása. Vízyűjtő-gazdálkodási Terv. 3-1 Mura.

Williams, G.P.; Wolman, M.G. (1984) Downstream effects of dams on alluvial rivers. US Geological Survey Professional Paper, 1286, 83 p. DOI: <https://doi.org/10.3133/pp1286>

Wishart D.; Warburton J.; Bracken L. (2008) Gravel extraction and planform change in a wandering gravel-bed river: The River Wear, Northern England. *Geomorphology* 94(1-2), 131-152. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.05.003

Wolman, M.G. (1967) A Cycle of Sedimentation and Erosion in Urban River Channels. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography* 49(2/4), 385–95. DOI: 10.2307/520904

WWF (2002) Waterway Transport on Europe's Lifeline, the Danube. Angol nyelvű projektjelentés. Hozzáférés: <http://www.zinke.at/Zinke.data/Images/navstud.pdf> (Letöltve: 2020. május 25.)

Egyéb internetes forrás:

DHMZ hidrológiai archívum (Hozzáférés: <https://hidro.dhz.hr/>)

## 11 Függelék – Keresztszelvények

A Függelékben bemutatott folyó keresztszelvényeket az 1971-es Dráva Atlasz, illetve a 2003-as és 2018-as Dráva mederfelmérés adatai alapján készítettük. A szelvényezést a hagyományos, VO kövek szerinti rendszerben végeztük el, így hasonlíthatók össze a legjobban a régi és új felmérések adatai. A VO kövek folyamilóméter szerinti elhelyezkedését az alábbi, 1971-es Dráva Atlaszból kivágott térképeken keresztül mutatjuk be.





**BME DEPARTMENT OF HYDRAULIC AND WATER RESOURCES ENGINEERING**

## Assessing causes and controls of bed erosion for the Drava River (between 0-236 rkm sections)

In the frame of project entitled Wise water management for the conservation of alluvial forest habitats along River Drava (LIFE17NAT/HU/000577)

---



**September 2020**

# Assessing causes and controls of bed erosion for the Drava River (between 0-236 rkm sections)

---

## **Authors:**

Dr. Baranya Sándor, associate professor

Pomázi Flóra, PhD student

Fleit Gábor, PhD student

Dániel Németh, MSc in hydraulic engineering

Márton Sütheő, MSc in hydraulic engineering

**Mandator: South-Transdanubian Water Directorate**

Budapest, September 2020

# 1 Introduction

This report has been prepared in the frame of the project entitled “Wise water management for the conservation of alluvial forest habitats along River Drava” by the Department of Hydraulic and Water Resources Engineering at the Budapest University of Technology and Economics (BME). The main goal of the study is to reveal and assess causes and controls of bed erosion for the Drava River (between 0-236 rkm sections). According to the contract, the following tasks have been performed:

- Literature review about potential causes for river bed erosion
  - anthropogenic impacts (changes in floodplain usage, river regulation, dredging, hydropower plants, ...)
  - natural impacts (climate change, tectonic changes, river bed evolution, ...)
  - characteristic bed erosion processes in Hungarian rivers, possible causes
  
- Bed topography maps
  - Digitalization of paper based maps from 1971 and projecting into EOV system
  - Processing bathymetry data from 1998-2003
  - Processing bathymetry data from 2018-2019
  
- Assessment of dredging data
  - Collecting dredging volume data
  - Assessment of temporal changes
  - Assessment of longitudinal changes
  - Estimation of impacts on bed changes
  
- Impact analysis of river regulation measures
  - Overview of relevant regulation measures in the past
  - Introduction of hydromorphological changes in the river
  - Estimation of impacts on bed changes
  
- Impact assessment of Croatian hydropower plants
  - Characteristic features of hydropower plants
  - Impacts of HPPs on flow regime
  - Impacts of HPPs on sediment regime
  - Impacts of HPPs on river morphology and bed elevations
  
- Assessment of morphological changes
  - Bed elevation difference maps
  - Island and river bend evolution processes
  - Longitudinal and temporal changes of low water levels
  
- Discussion
  - Assessment of causes, locations and magnitudes of river bed erosion along the Drava River
  - Analysis of bed erosion processes

## 2 Results

### **Part I - General introduction**

General (anthropogenic and natural) causes of riverbed incision are overviewed, furthermore, we briefly present the intensity of the typical riverbed changes along Hungarian rivers which have been significantly incising. We discuss separately the previous studies about the significant incision of the Lower Drava.

The morphological reaction of rivers for changes in the water and/or the sediment regime can vary. Riverbed incision occurs when i) sediment supply decreases, but flow discharge remains constant, ii) flow discharge increases, but sediment supply remains constant, iii) flow discharge increases and sediment supply decreases – that is, there is a deficit in the sediment balance.

Two main groups of the causes of bed incision can be distinguished: anthropogenic and natural causes. Both causes can be direct or indirect – while the former has an immediate, local effect, the latter is slower as it affects the runoff and sedimentation processes on the catchment area. Anthropogenic causes are the land use (i.e. vegetation and urbanisation), the traditional river regulation measures (i.e. groynes, bank protection works, cut-offs, channel straightening and flood protection works), dredging (commercial and regulatory) and hydropower plants (HPP). Natural causes are the climatic changes, tectonic movements, the lateral movement of the river and the lowering of the base level. It is important to note, that the above-mentioned causes typically occur together and the effects cannot be easily distinguished.

Due to the river regulation measures (since the 18th century) tectonic subsidence of the Carpathian Basin, most of the Hungarian rivers are deepening. A more detailed overview is presented in Table 1.

Table 1: Rates and causes of incision along the rivers Hungary (summary)

River	Section	Time period	Incision (cm/y)	Main cause/s
Duna	Hungary	1901-2005	0.67 - 2.07	HPPs, dredging, river regulations (groynes), tectonical movements
	Hungary	n.a.	1.00	
	1850-1790 rkm	1959-2016	5.26	
	1850-1790 rkm	1971-2016	3.33	
	1850.20-1809.76 rkm	1938-2002	2.31-6.25	
	1809.76-1786.00 rkm	1970-2014	3.40-4.20	
	1786.00-1729.35 rkm	1949-2014	1.39-2.20	
	1729.35-1699.50 rkm	1970-2013	4.00-6.00	
	1628.45-1586.00 rkm	1965-2013	2.20-2.40	
	1605-1525 rkm	1996-2016	1.60	only from dredging
Hungary	1960-1990	2.00		
Hernád	Hungary	1957-2009	1.25	tectonical movements, impouement
	Hungary	1974-1985	0.23	only from tectonical movements
Ipoly	94.38-78.56 rkm	2010-2014	0.50-0.75	river regulations (cut-off)
Maros	lower section	1876-1912	1.94-6.94	river regulations (cut-off, bank protection), tectonical movements, climatic change,
	24.50-21.92 rkm	1960-1990	2.70	
Mosoni-Duna	lower section	1972-2004	3.13	river regulations (groynes, dredging), riverbed deepening of the Danube (base level lowering)
	Danube confluence	1972-2004	6.25-7.81	
Rába	51.24-41.17 rkm	1958-2002	2.27	dredging, river regulations (bank protection)
	41.17-29.04 rkm	1958-2002	1.82	
	29.04-14.02 rkm	1958-2002	4.55	
	14.02-0.00 rkm	1958-2002	2.73	
Sebes-Körös	upper section	1969-1993	1.20-2.00	HPPs
Tisza	Hungary	1842-1961	0.30-3.10	river regulations (cut-off, bank protection, flood protection), HPPs, tectonical movements
	246.20-173.60 rkm	1901-1976	2.00	
	225-205 rkm	1960-2006	2.17	

There are previous studies which had studied the morphological changes along the investigated section of the Drava River. Based on these preliminary studies, the average rate of the incision of the Hungarian section of the Lower Drava was ca. 3.00 cm/y in the period between 1970-2016. See Table 2 for the three section:

Table 2: Preliminary rates of incision along the Lower Drava (overview)

Section	Section (rkm)	Time period	Incision	Mean incision
	fkm		cm/y	cm/y
Hungary	235.90-70.20	1970-2016	2.00-4.00	3.00
Bélavár-Barcs	198.00-154.10	1972-2006	2.00-3.15	2.24
Barcs-Drávaszabolcs	154.10-77.70	1993-2002	0.50-1.08	1.08
Eszék-confluence	22.00-0.00	1886-2003	0.86-2.19	1.25



The studies used both direct and indirect methods in order to determine the value of incision in a given period. Direct methods are based on the known volume of the excavated material or riverbed surveys (Figure 1). Indirect methods are based on the time series analysis of water levels. In this study, we performed a similar, but extensive analysis.

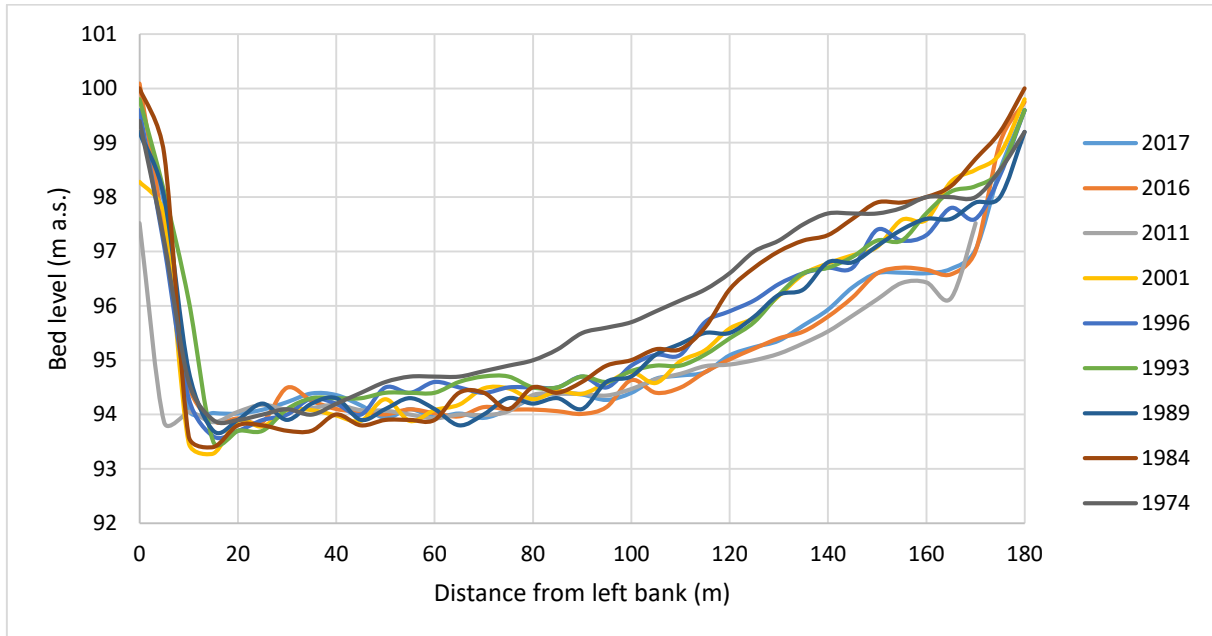


Figure 1: Geometric changes in the cross section of the "Barcs" station (154.10 rkm) between 1974 and 2017

## Part II – Discussion of the various anthropogenic effects along the Lower Drava

In the first part of the study we examine in detail the anthropogenic causes of the morphologic changes along the Lower Drava as of the following:

- We overview the available bed topography data. There had been difficulties during the processing as there were discrepancies between the different formats of riverbed geometry.
- We present the available dredging data. There had been a significant dredging from the riverbed along the Lower Drava, especially between Botovo (227.10 rkm) and Drávaszabolcs (77.00 rkm). Between 1982 and 2011, the total amount of the excavated material was 6.29 M m<sup>3</sup>. Upstream of Barcs, the excavated gravel amounted 2.77 M m<sup>3</sup>, downstream of Barcs, the excavated bed material (from sandy gravel to fine gravel) was around 0.74 M m<sup>3</sup>. (Note, that there are no data available about the illegal dredging activities.)

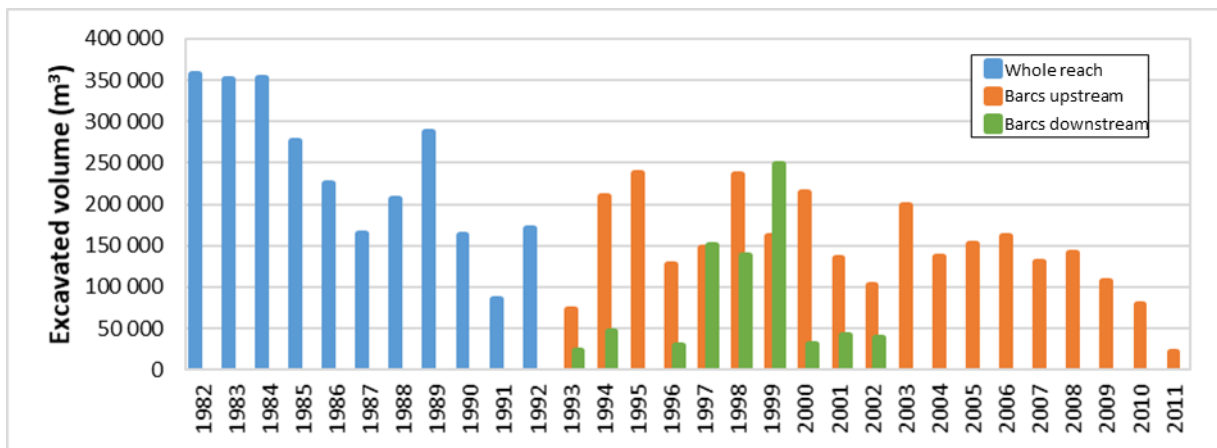


Figure 2: The excavated volume throughout the years (1982-2011) (Colours: blue: the whole Lower Drava section, orange: above Barcs, green: below Barcs)

We projected the excavated volumes on the estimated length of the known dredging sections and determined an approximate rate of incision (originating from dredging). This value was modified with the morphological changes calculated from the difference of the bedload between the sections, as the dredging pits trap sediments transported on the bed surface. The total incision was ca. 46 cm (1.53 cm/y) above Barcs, and ca. 20 cm (0.94 cm/y) downstream of Barcs.

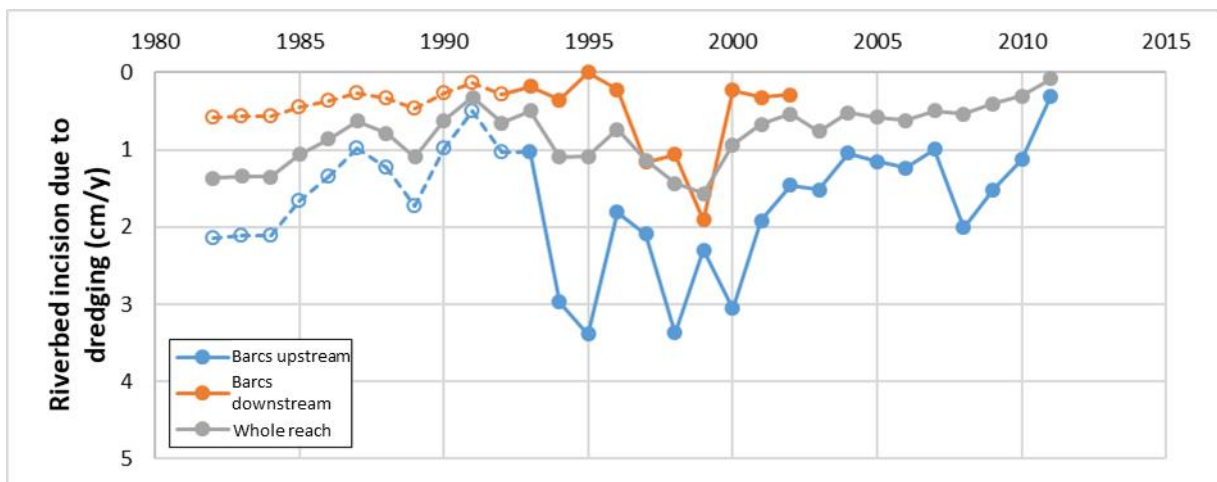


Figure 3: Riverbed incision due to dredging along the Lower Danube. (Colors: gray: the whole Lower Drava section, blue: upstream of Barcs, orange: downstream of Barcs)

Furthermore, we present the river regulation interventions carried out along the investigated section of the Drava. We briefly presented the changes in the Drava channel (based on previous studies) such as shortening, the development of meanders and islands along the Drava. Regulations started in the end of the 18th century. The length of the Drava was reduced by 40% due to meander cut-offs, the confluence moved to the north, the channel pattern simplified. In order to improve shipping conditions, the channel was straightened, groynes and bank

protection works were built. Thus, the section below Barcs is almost completely regulated. However, during World War I and II, the maintenance of the regulation works stopped and the less regulated sections may have come into a state close to natural. Analyzing long-term time series of the low water before the first Croatian HPP was built (i.e. before 1975), we determined the rate of the deepening due to the traditional river regulations. We found, that before 1975, the riverbed deepened by approx. 1.00-2.50 cm/y.

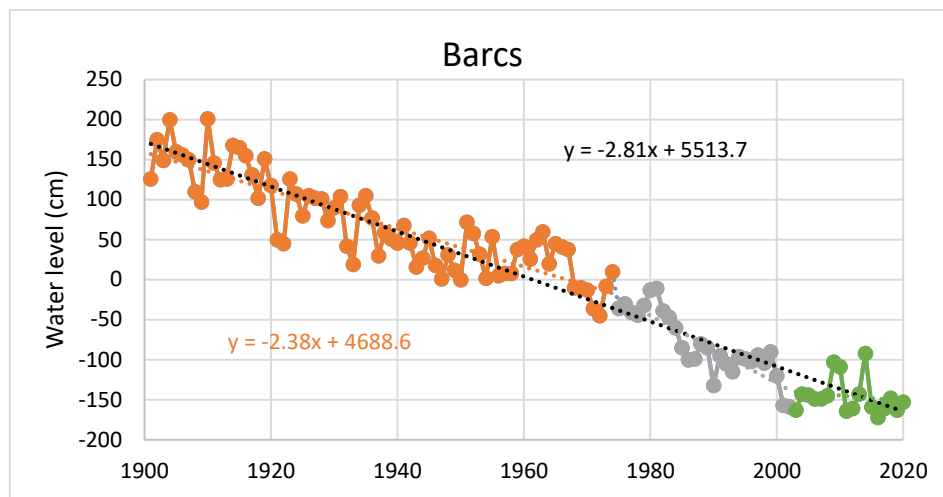


Figure 4: The annual low water levels at Barcs (154,10 rkm) between 1901 and 2020. (Colors: orange: 1901-1974 (only traditional river regulation), gray: 1975-2002 (HPPs and dredging as well), green: 2003-2020 (since dredging activities are discontinued), black: 1901-2020).

Last, but not least, we introduce the three Croatian HPPs (Varaždin, Čakovec and Donja Dubrava HPPs). Based on previous studies, we present in detail the hydrological and hydromorphological effects of the HPPs. The effects of newly installed HPPs are immediate. The longitudinal sediment continuity disrupts, deficit arises in the downstream. This „clear water” has a high erosion potential and initiates an intensive, downstream propagating incision process right below the dam. However, the vertical changes reach an equilibrium state sooner or later (for example by bed-armoring) and the horizontal changes (e.g. bank erosion) come to fore. Furthermore, when there are bank protection works that inhibit the bank erosion, the incision continues.

The HPPs also modify the hydrological regime. These effects cause other significant changes in the river morphology, such as narrowing and the simplification of the channel pattern. All the effects of the HPPs are spatially and temporally extensive, but not everlasting. The most significant changes occurred in Őrtilos (235.90 rkm), which is the closest section (of the investigated Drava section) to the three Croatian HPPs. The nearest, Donja Dubrava HPP is located only 10 kms upstream. It can be seen, that after putting the first two HPPs into operation, the new equilibrium state could be formed in 5-6 years, but after starting the operation of Donja Dubrava HPP, this process lasted a decade (1989-2000), during which, the riverbed deepened by ca. 140 cm. Note, that there are no other effects known at this station.

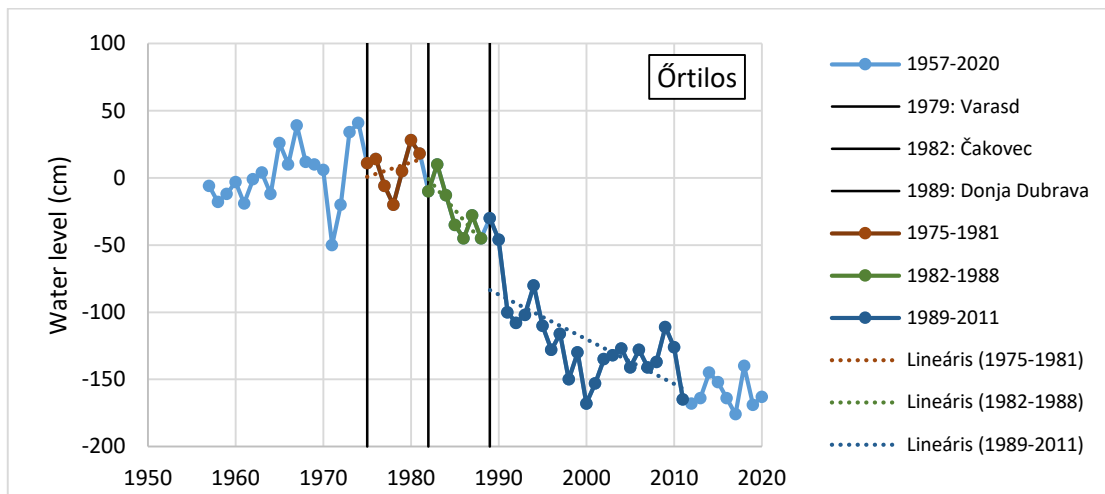


Figure 5: The effect of the Croatian HPPs according to the changes in low water levels in Órtilos (235.90 rkm)

Downstream of Órtilos, the effects of the anthropogenic causes cannot be entirely distinguished. By determining the total changes in the bed level (via time series analysis of the low water levels) and extracting the estimated value of the incision caused by dredging, we estimated the rate of morphological changes caused by HPPs and other anthropogenic effects. Upstream of Barcs, this rate was approx. 0.53 cm/y, while downstream of Barcs, it was 0.94 cm/y. As in case of the dredging and the river regulations, the vertical effects of the HPPs have also been ceased during the last decade.

### Part III – Estimation of river bed incision (Time series analysis of low water levels)

The intensity of the morphological changes was estimated via the analysis of the changes in low water levels. We carried out the analysis of the low water levels measured at 10 hydrological monitoring stations along the Lower Drava. Time series for the Hungarian sites (water levels are measured every hour) had been provided by the South-Transdanubian Water Management Directorate. The Croatian values had been produced from the online available archive (containing daily values) of the Croatian Meteorological and Hydrological Service. As this part strongly relates to the evaluative analysis, we do not discuss the details here.

We also present and interpret the changes based on the cross-sectional shape of the river between 1971, 2006 and 2018. The changes in the cross-sectional shape of the river support these results, however, there are cross sections (e.g. the area of Barcs) where there are still some ongoing effects of the intensive dredging.

### Part IV – Evaluative analysis and summary

Finally, we identify the possible causes of the intensive riverbed incision of the Lower Drava and estimate their share in the long-term morphological changes. We found that the most

significant causes are mainly anthropogenic: the river regulations, the dredging of the riverbed and the HPPs are responsible for the 96% of the incision. Most of the natural processes (e.g. the lateral movement of the river) alone do not cause significant changes. However, together with anthropogenic effects, they can further intensify the processes. For example, if the lateral movement of the river is inhibited by bank protection works, the joint effect is incision. Nevertheless, the tectonic movements of the Lower Drava Valley cause a constant subsidence (1-2 mm/y) which had been negligible (ca. 4%) next to the incision related to the anthropogenic effects.

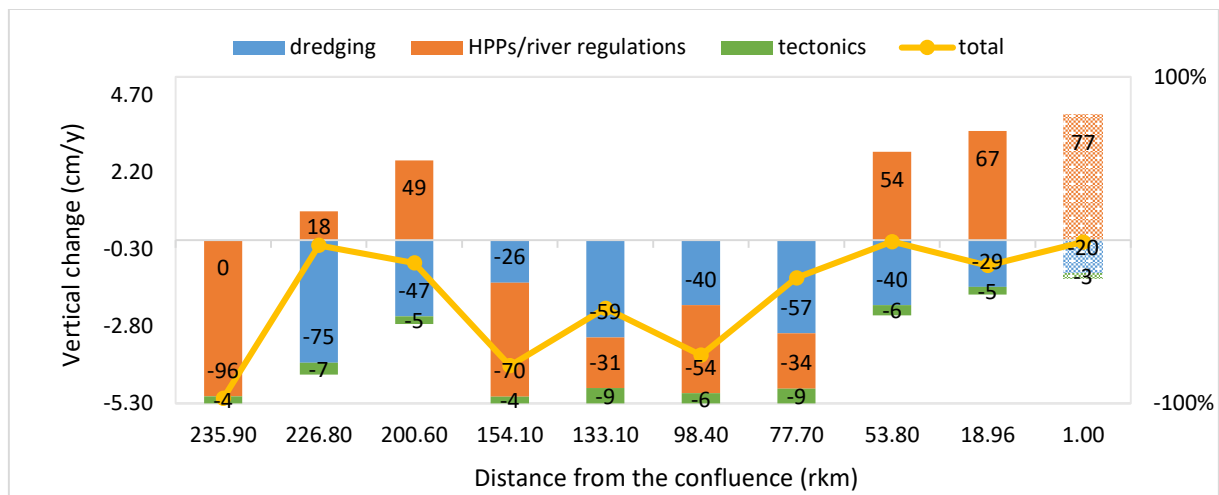


Figure 6: The vertical changes along the Lower Drava in the Second period (see below) (yellow) and the distribution (%) of the different factors. (Note: the different marking in case of the station by the confluence indicates that the time series is incomplete.)

Based on the available data (dredged volumes, time series of low water) analyzed the spatial and temporal changes of the riverbed incision. It is important to note, that the data (and therefore the results as well) should be treated with reservations, as:

- there is no detailed information about the locations of the dredging,
- the length of the time series of low water not always long enough, so in some cases, the representativeness is questionable,
- the response time is hard to determine,
- the effect of different factors is hard to distinguish,
- etc.

During the evaluative analysis, we determined three different periods depending on the major anthropogenic effect:

- **First period:** from the end of the 18th century until the first Croatian HPP (1975). During this period, only traditional river regulation measures were carried out. The natural equilibrium state of the Lower Drava had broken.

- **Second period:** from 1975 until 2002/2011 (downstream/upstream of Barcs), when the dredging activities discontinued. The effects of the different anthropogenic factors may cannot be distinguished.
- **Third period:** from 2003/2012 until nowadays. Analyzing the low water levels and the available riverbed geometry, we can conclude, that the vertical effects of the anthropogenic factors ceased and a new equilibrium state seems to be developing. However, it is important to note, that the analysis of this 10-20-years long period may not be representative.

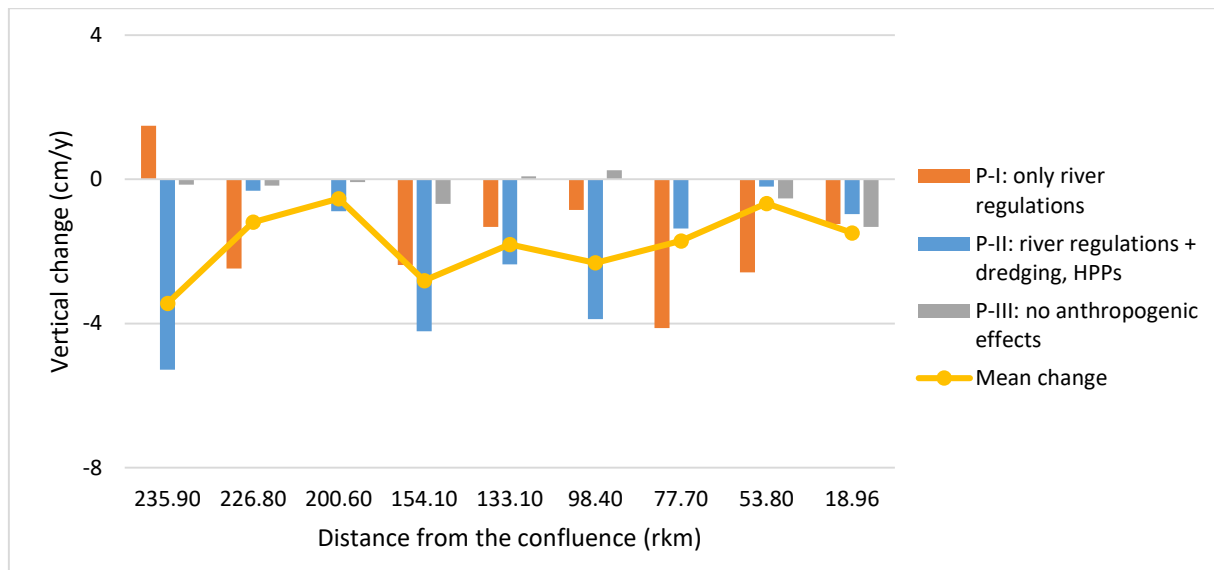


Figure 7: The intensity of vertical changes along the Lower Drava in periods determined by the anthropogenic effects. (Note: the length of the first period (P-I) varies at the different stations)

For the time period 1968-2018, the longitudinal profile of the vertical morphological changes could be produced as there was continuous data from each station. During this 50 years, the Drava deepened by ca. 86 cm. The most intensive incision (220 cm; 4.32 cm/y) occurred at the Órtilos station which is the closest to the Croatian HPPs. The rate of the incision is decreasing towards the confluence: it was 170 cm (3.33 cm/y) at Barcs and 64 cm (1.25 cm/y) at Drávaszabolcs.



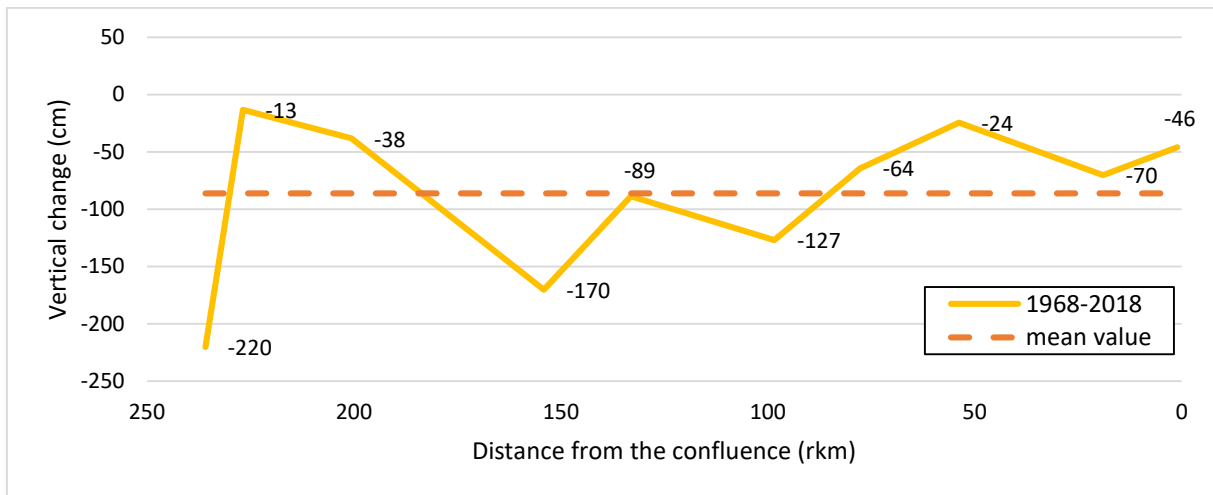


Figure 8: Bed level changes along the Drava River between 1968-2018

Summarizing the conclusions of the study:

- The length of the Lower Drava was reduced by about 40% due to meander cut-offs in the 19th century. This and the groynes, bank protection works and the dredging (with regulatory purposes) caused local narrowing and deepening. During the last ca. 120 years (1900-2020), the mean riverbed incision was 1.30 m along the Lower Drava. Examined separately the sections upstream and downstream of Barcs, the incision values are 1.20 m (upstream) and 1.40 m (downstream), respectively.
- Based on the long-term analysis of low water levels, the conventional river regulations (started in the end of the 18th century) caused the intensive deepening of the riverbed. Analyzing the period before the construction and operation of the three Croatian HPPs (i.e. before 1975), we estimate that the rate of the incision was approx. 0.50 cm/y upstream of Barcs and 2.00 cm/y downstream of Barcs.
- Between 1882 and 2007, the area of the water surface continuously decreased (almost by 50%). At the same time, the average cross-sectional width of the river also decreased by more than 50% (at a rate of 1.80-3.60 m/y). As a result of the change in these two parameters of the bed morphology, the channel pattern had been simplified, and the morphological features of the riverbed had become more uniform.
- The impact of regular river regulation measures was long-lasting yet steadily declining, apparently leading to a new equilibrium state until the commission of the Croatian HPPs and the intensive dredging began in the early 1980s. The equilibrium state applies to those sections of the river where there are bank protection works and transverse riverbed development cannot further develop. On sections without bank protection, the termination of vertical bed changes does not necessarily mean the development of a new equilibrium, as transverse bed changes, e.g. meandering may still occur.

- Based on the excavated material's volume, we could estimate the rate of incision (caused by dredging) in the period between 1982 and 2011, when the most intensive gravel and sand extraction took place on the Drava. The dredging caused approx. 1.20 cm/y incision upstream of Barcs and approx. 0.60 cm/y downstream of Barcs.
- Putting a Croatian HPP into operation, the bed incision began immediately in the downstream reach. The incision process is apparently long- but not everlasting. The most significant impact was caused by the lowermost HPP, the Donja Dubrava HPP (commissioned in 1989). In Órtilos (235.90 rkm), the stabilization of water levels took up to a decade, during which time (1989-2000) the riverbed deepened approx. 140 cm (approx. 11.50 cm/y).
- In the natural state of the Drava, due to the large number of islands, the upper section was split into branches (thereby increasing the width of the river). This braided pattern was significantly simplified by the effects of the operating HPPs. Although the braiding index decreased, the sinuosity had not changed. The hydrological regime had been also modified by the HPPs. The decreasing water levels caused a decrease in the number and area of the islands, and the river narrowed at an intense pace.
- The most significant effect of the Croatian HPPs was experienced in the area of Órtilos (235.90 rkm). Downstream of Órtilos, the dredging was the main cause of the riverbed deepening from the 1980s until approx. 2010. Based on our estimations, in this period, the dredging caused ca. 50% of the incision. The other 50% was divided between the effects of HPPs and other local river regulation activities.
- From the beginning of the 2010s, after the discontinued dredging activities, the deepening of the riverbed largely decreased. The ca. 0.10 cm/y intensity meets the estimated value of the tectonic subsidence. There are shorter sections (e.g. near Barcs), where the morphological effects of the recent intensive dredging, though declining, but still occur. (Note, that the analysis of water level changes in the last 10 years is not necessarily representative.)
- In order to explore the Lower Drava River's flow, morphological, sediment transport processes and the interaction of these physical characteristics with biotic characteristics, more detailed investigations are needed in the future. The combination of modern, innovative field measurements and modelling (numerical and physical) with biological analyses may point to previously unexplored and unknown processes, based on which, future interventions can be performed with significantly greater reliability.

Dr. Sándor Baranya

Budapest, 2020 September