

FOLYÓSZABÁLYOZÁSI MŰVEK MORFODINAMIKAI HATÁSVIZSGÁLATA A MAGYARORSZÁGI FELSŐ-DUNÁN

Nyiri Emese¹, Dr. Török Gergely Tihamér^{1,2}, Dr. Baranya Sándor¹

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar,
Vízépítési és vízgazdálkodási Tanszék

²ELKH-Vízgazdálkodási Kutatócsoport

Kivonat

A vízfolyások életében megfigyelhetőek morfológiai változások, melyeket mesterséges beavatkozások, illetve természetes folyamatok is okozhatnak. Az említett folyamatok miatt a vízfolyások medergeometriája folyamatos változásokon mennek keresztül, amelyek egy dinamikus egyensúlyi állapot felé alakítják a medret. Azt elérve is megfigyelhető további mederváltozás, azonban annak hatására nem várható a dinamikus egyensúlyi állapottól való szignifikáns eltérés. Jelentősebb természetes vagy mesterséges folyamatok hatására a dinamikus egyensúlyi állapot jelentős változása várható. Ekkor kardinális kérdés, hogy milyen új medergeometria, illetve áramlási viszonyok (tetőző vízszint) várhatók. Jelen kutatásban a magyarországi Felső-Duna egy szakaszát vizsgáljuk. A folyószakasz számos nagyon jelentős szabályozást élt meg, gondolva itt akár a XIX. századi szabályozásra (fonatos ágrendszer szabályozása), vagy a XX. században épült sarkantyúkra és a Bösi vízlépcső építésére. A vizsgálatunk alapját korabeli hossz-szelvények összevetése adja, amit további irodalomkutatás során talált morfodinamikai jellemzők (mederszintek, mederanyag, hordalékhozam, mederesés stb.) vizsgálata egészít ki. Az egyes beavatkozások tér- és időbeli beazonosítása alapján keresünk magyarázatot az egymást kronológiailag követő hossz-szelvények között jelentkező átlagos változásokra.

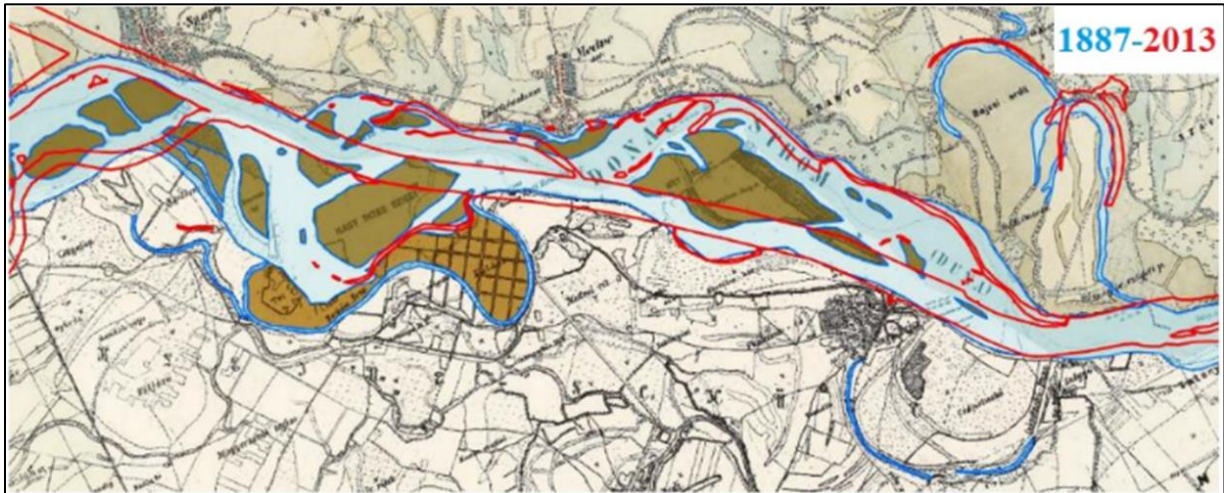
Kulcsszavak: dinamikus egyensúly, morfológia, Felső-Duna, folyószabályozás, trendelemzés

BEVEZETÉS

Az idő teltével minden folyó esetén megfigyelhetőek morfológiai változások, melyek hatását a dinamikus egyensúlyi állapotra való hatással lehet jellemezni. A változásokat okozhatja mesterséges beavatkozás, illetve természetes jelenség is. Napjainkban az előrejelzésekre egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk, mely a folyók morfológiai jellemzőinél is fontos lehet, gondolva itt a medergeometriai és a hidraulikai változásokra is. A természetes jelenségeket sokszor csak becsülni tudjuk, de a mesterséges beavatkozásokat tervezési munkák vagy egyeztetések előzik meg, amelyek így módon pontosabb peremfeltételeket biztosítanak az előrejelző számításoknak. Ezen előrejelzési modellek fontos alapja az alapos irodalomkutatás és adatelemzés, melyek peremfeltételeket és az igazoláshoz szükséges referenciaértékeket szolgáltatnak. A magyarországi Felső-Dunán is megfigyelhető, hogy egyes beavatkozások olyan medergeometriai változásokat indukáltak, amelyet a tervezésnél nem, vagy nem tudtak számításba venni. Ilyen például egy felvízi beavatkozás medereróziójához köthető alvízi hordaléktöbblet okozta lerakódás és kavicspad épülés, vagy akár mederszint emelkedés. Ebben az esetben a felvízi beavatkozás hajózási nehézségeket okozhat az alvízen, amely újabb beavatkozásokat követel majd meg az így problémássá váló folyószakaszon. Az egyensúly tekintetében elmondható, hogy a folyamatos változások is azt igazolják, hogy a Felső-Dunán a dinamikus egyensúlyi állapot a vizsgált időszakban nem alakult ki, melyre egy korábbi kutatási munkánkban is megállapítást tettünk (Nyiri, 2020). Kutatásunkban a magyarországi Felső-

Duna egy mesterséges beavatkozásokban gazdag, illetve aktív morfordinamikai jelenségekkel jellemezhető szakaszával foglalkoztunk és ezen szakasz mesterséges hatásait vizsgáltuk.

A Duna megélt már rengeteg szabályozási munkálatot, gondolva itt a 19.századi folyószabályozásra, ahol az akkori fonatos jellegű ágrendszerből (1. ábra) egy főmedret alakítottak ki (2. ábra), amely kedvezőbb hajózási feltételeket biztosít, illetve jobb árvízlevezető képességet.



1. ábra: Duna szabályozás előtt/után összehasonlítás (Forrás: DuRe Flood project 2015)



2. ábra: Ortofotó a Duna jelenlegi állapotáról (2012) (Forrás: DuRe Flood project 2015)

Az átvágások következtében a hordalékhozam az alvízi szakaszon növekedett és egyes részeken a lerakódott hordalék a meder fokozatos feltöltődését, illetve a kavicspadok mederszűkületek kialakulását eredményezte, amelyek a későbbiekben hajózási problémákat is előidéztek. Megoldásként a következő beavatkozás a 20. század első felében épülő sarkantyúk/sarkantyúsorok voltak, melyet több helyen is alkalmaztak a magyarországi Felső-Dunán, melyet a 3. ábra is szemléltet.



3. ábra: Sarkantyúsor Nagybajcsnál (Forrás: Google Maps, 2022)

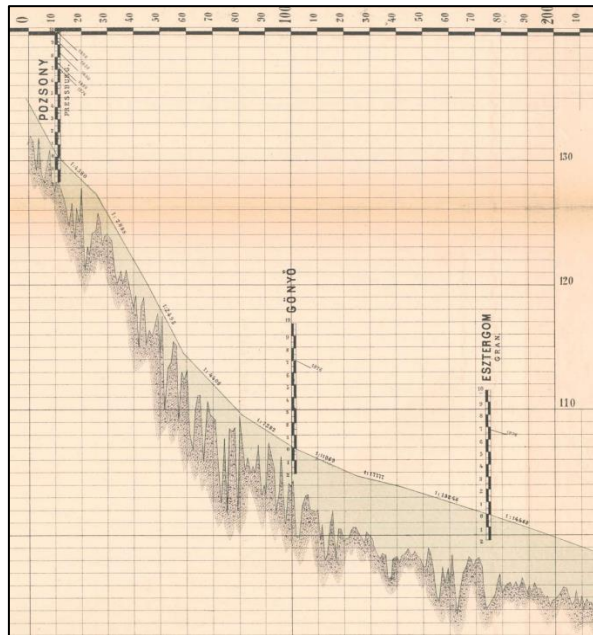
A vizsgálatunk vezérfonalát az alábbi kérdés adja: a folyószabályozási beavatkozások milyen hatást gyakoroltak a folyó egyensúlyi állapotára és morfológiájára?

ANYAG ÉS MÓDSZER

Irodalomkutatás

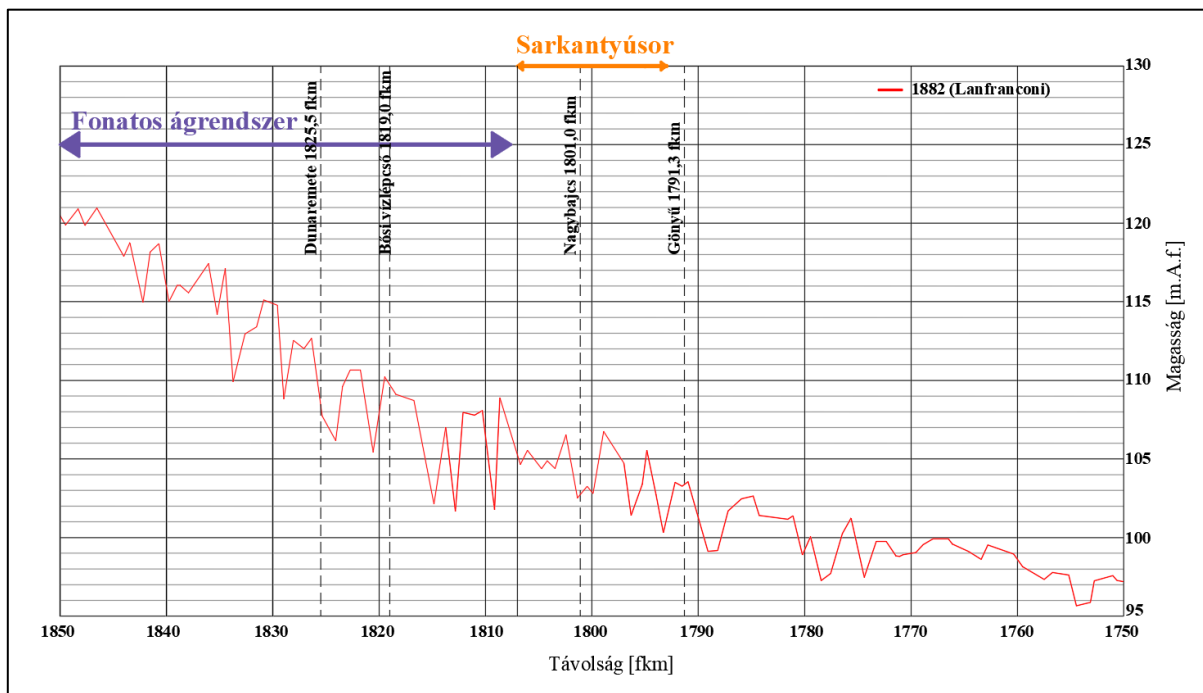
Az irodalomkutatás során biztos alapot nyújtott egy 2020-as TDK munkához elvégzett adatelemzési és irodalomkutatási munka (Nyiri, 2020). Nagy segítséget adott Bogárdi János: *Vízfolyások hordalékszállítására* című könyve, Tóry Kálmán: *A Duna szabályozása* című könyve és a *Vízrajzi Évkönyvek*. Ezen irodalmak a jelenlegi kutatási munkának is fontos pillérét képezték. 2020-ban a *Vízrajzi Évkönyvekből* kigyűjtött szelvény adatokat a dunaalmási szelvény adataival lettek kibővítvve. Ennek célja az volt, hogy a vizsgált szakasz alvízi irányában is meg tudjuk figyelni a változásokat. Továbbá, nagy segítségünkre voltak még a VITUKI Tanulmánytár 1954-es feljegyzései, melyhez a Vízügyi Levéltáron keresztül tudtunk hozzájutni. Az irodalomkutatásra nagy hangsúlyt fektettünk, hiszen később egy modellnél az igazolásnak és paraméterezésnek biztos alapot tud adni egy megfelelő szakirodalmi kutatás és a feldolgozott adatok alapján a morfordinamikai folyamatokra vonatkozó feltárás. A több időszakból összegyűjtött adatokból megállapítást lehet tenni a morfológiai változásokra és folyamatokra. Kettő beavatkozás hatását vizsgáltuk ebben a tanulmányban, így az azokat megelőző és követő adatok gyűjtése volt a cél. A két beavatkozás egyike a 19. századi szabályozás, a másik a sarkantyúk beépítése a 20. század első felében. A 19. századi szabályozás előtt nem sok érdemi adat állt rendelkezésre, viszont a szakirodalmi kutatás alapján egy nagyon lényeges forrásra tettünk szert, amely a szabályozás előtti Duna hossz-szelvénye (Lanfranconi, 1882). Az említett korabeli hossz-szelvényt a 4. ábra mutatja be, amin az látható, hogy a szakasz nem azonos esési tendenciát követett. A felső szakaszon

meredekebb esés volt jellemző, amely az alsó szakaszt elérve drasztikusan lecsökkent, Gönyű térségében. Korábbi vizsgáltunk során (Nyiri, 2020) arra mutattunk rá, hogy az eséstörést a szelektív erózió okozza.



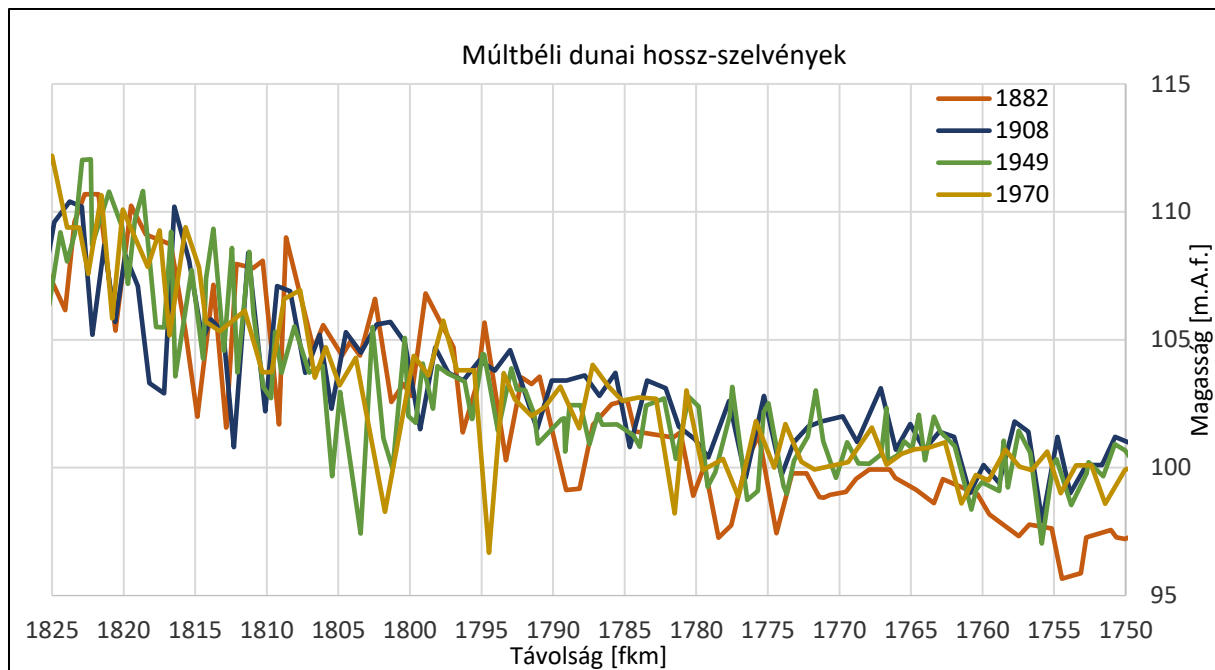
4. ábra: Duna hossz-szelvénye a 19. századi szabályozás előtt (Lanfranconi, 1882)

A korabeli hossz-szelvényt digitalizáltuk, hogy fel tudjuk tárni a hossz-szelvények közötti különbségeket. Az 5. ábrán látható a digitalizált hossz-szelvény, illetve az ábrán jelöltük a beavatkozásokat is és azokat a szelvényeket is, amelyekről érdemi mennyiségű morfológiai adatot is találtunk.



5. ábra: 1882-es hossz-szelvény digitalizált része

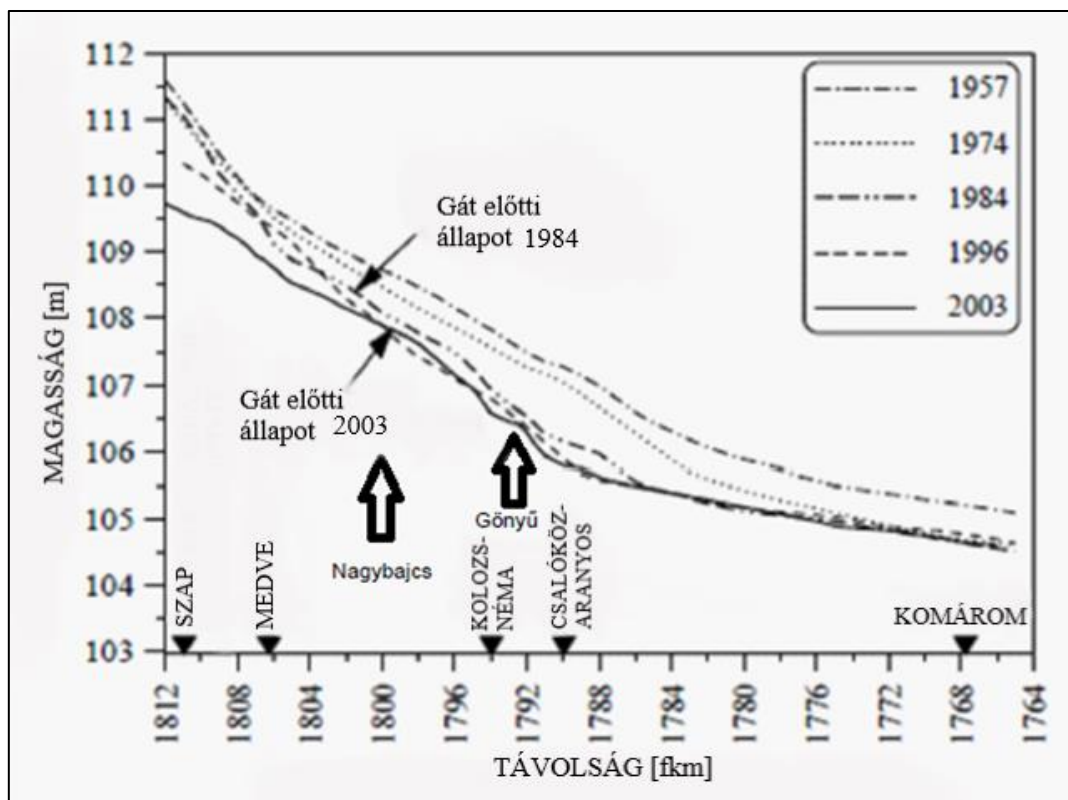
További adatként rendelkezésünkre állt még 1908-as (M.kir. állami nyomda, 1910) , 1949-es (OHV Vízirajzi osztály, 1949) és 1970-es (VITUKI, 1970) dunai hossz-szelvény. A vizsgált szakasz 4 különböző hossz-szelvényét egymásra illesztettük, melyet az 6. ábra mutat be. A későbbiekben ezen hossz-szelvények közti elemzést fogjuk bemutatni. Az ábrán látható, hogy az alvízi szakaszon (~ 1780 fkm alvízi szakaszán) feltöltődés ment végbe, néhol 2-3 méteres nagyságrendben.



6. ábra: Múltbéli hossz-szelvények összehasonlító diagramja

A hossz-szelvényeken megfigyelhető az is, hogy a szabályozások után a meder Gönyű (1791,3 fkm) felett láthatóan mélyül, míg Gönyű alatt már jelentős lerakódás figyelhető meg (a narancssárga vonal elhelyezkedése alapján). Az 1949-es hossz-szelvényt (zöld vonal) hasonlítva a szabályozás előttihez (narancssárga vonal) elmondható, hogy kisebb kimosódás van jelen Gönyű felett (1805 – 1800 fkm között), Gönyű alatt viszont már fokozatosan feltöltődő rész látható.

Az eséstörés elhelyezkedése a hossz-szelvényeken is megfigyelhető, amivel egy külföldi tanulmány is részletesen foglalkozik (Holubová et al., 2004). A 7. ábrán látható öt kisvízi vízszinthossz-szelvény összehasonlítása. A legrégebbi felhasznált hossz-szelvény 1957-es, míg a legfrissebb 2003-as. Megfigyelhető, hogy a bemutatott szakaszon folyamatos vízszintcsökkenés figyelhető meg a vizsgált közel 50 éves időszakban. Az eséstörés Gönyű környezetében helyezkedik el és az is látható, a törés helye az idő múlásával változik és a felvízi irányba tolódik el. Hasonló, nem alvízi irányba történő eséstörés helyzetének vándorlását sikerült már kimutatni a Dráva esetén is (Nyiri, 2021).



7. ábra: Dunai kisvízi vízszint hossz-szelvények változása a 20. században (Holubová et al., 2004)

A vízszintek csökkenésének oka feltehetően a medererózió. A mederszintek alakulásának egyik kulcsfontosságú eleme a görgetett hordalék, hiszen a medergeometria változását a hordaléktranszpont alakulása nagyban befolyásolhatja. A legkorábbi hordalékhozam mérési adatokat a levéltári kutatáskor találtunk a VITUKI feljegyzéseiben. Az 1. táblázatban szemléltetjük az egyes szelvényekre szakirodalomban talált legkorábbi átlagos hordalékhozam értékeket.

1. táblázat: Vizsgált szelvények hordalékhozam adatai

Mérés ideje/helye	1952-1953	1966-1992
Dunaremete	185400 t/év	730607 t/év
Nagybajcs	22000 t/év	483873 t/év
Dunaalmás	38850 t/év	65000 t/év

A görgetett hordalék mennyiségén felül még fontos a szemcseméretének ismerete is, hiszen az számos többletinformációt szolgáltat. A vizsgált folyószakaszon nagyon változatos a szemösszetétel, amely szintén azt sugallja, hogy nem áll fenn egyensúlyi állapot, hanem szelektív eróziós lerakódás folyamatára utalhat.

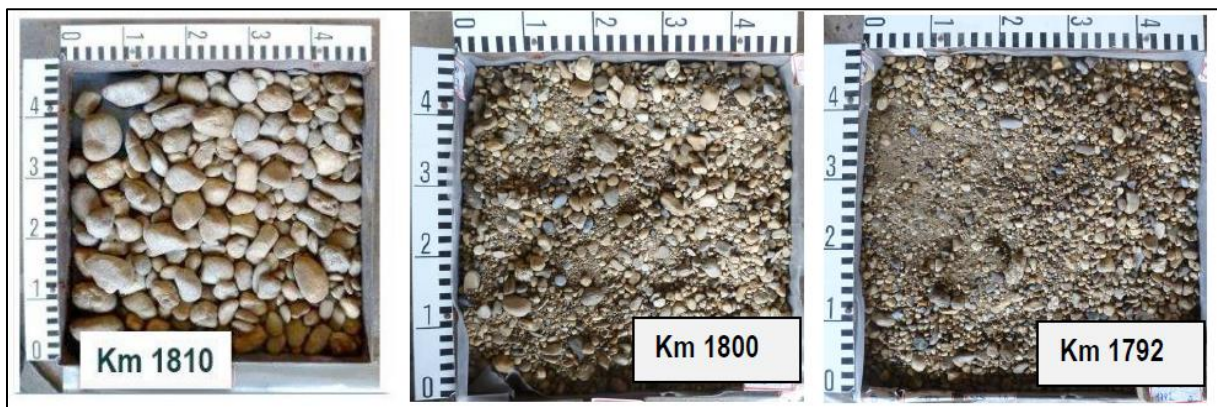
A szelvényekre jellemző görgetett hordalék és mederanyag szemcseméreték értékei az 1952 és 1953 közötti mérési adatokból származnak, melyeket táblázatba foglalva a 2.táblázatban lehet megtalálni:

2. táblázat: Vizsgált szelvények jellemző szemcse adatai

	Szemcseméret, D_{50}		
	Dunaremete (1825,5 fkm)	Nagybajcs (1801,0 fkm)	Dunaalmás (1752,0 fkm)
Görgetett hordalék	18 mm	7.5 mm	0.245 mm
Mederanyag	19 mm	13 mm	18 mm

A táblázatban látható, hogy egyes szelvények között jelentős különbségek adódnak. Dunaremete és Nagybajcs között mindössze 25 km van és a nagybajcsi szelvényen a jellemző szemcseméret kevesebb, mint fele a dunaremetei értéknek. Egy korábbi kutatásban vizsgáltuk, hogy ezt okozhatja-e a szemcsék kopása, viszont azt az eredményt kaptuk, hogy ilyen mértékű csökkenést nem okoz, tehát a szakaszon hordalék lerakódás van jelen (Nyiri,2020).

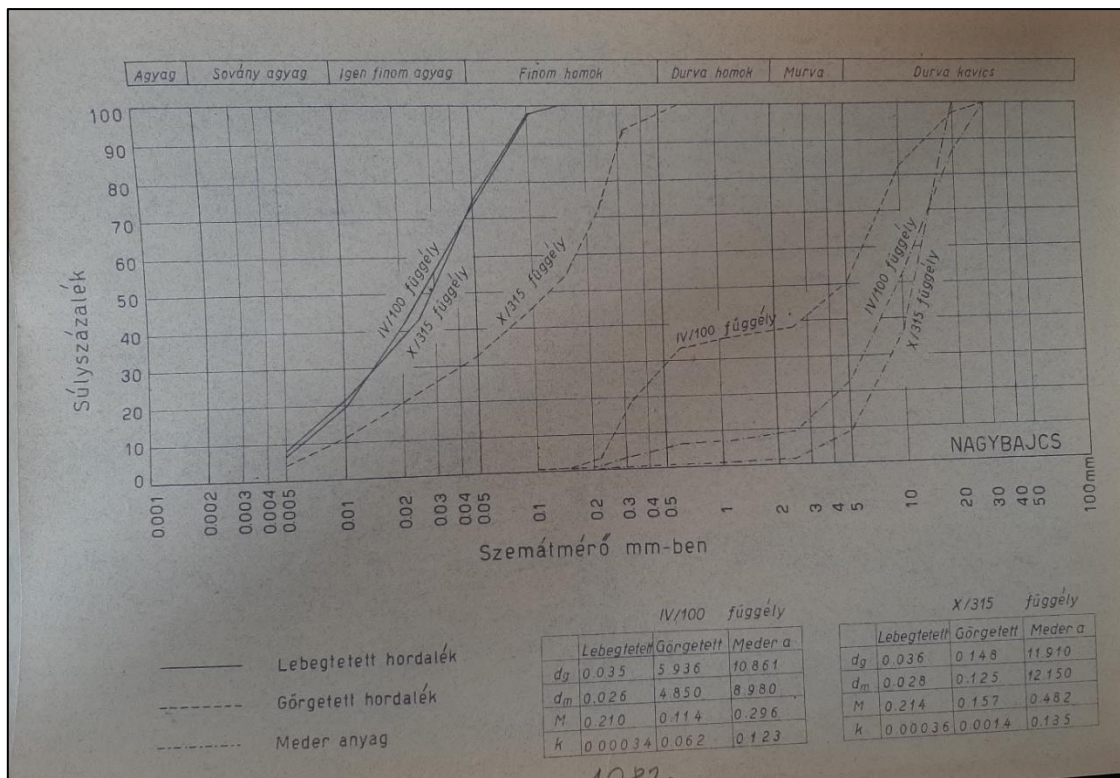
A szemösszetételek kapcsán fontos jellemző a szemösszetétel homogenitása, vagyis, hogy a jellemző (pl. D_{50}) jól közelíti-e az előfordulható szemcseméreték skáláját. Ennek fontos relevanciája van pl. hordaléktranszport modellezése szempontjából is, hiszen egy vegyes szemösszetételű szakaszt csak inhomogén szemösszetételt számításba vevő modell alkalmazásával indokolt modellezni. A vizsgált szakasz görgetett hordaléka kapcsán vegyes szemösszetétel állapítható meg, amit a 8. ábra is szemléltet.



8. ábra: Szemcseméret csökkenésének szemléltetése különböző szelvényekben (DuRe Flood project, 2015)

A levéltári kutatás során találtunk a VITUKI tanulmánytárába szemösszetételi görbék, amelyeket még Bogárdi János rögzített. Fontos azonban megjegyezni, hogy egy széleskörű vizsgálathoz a görgetett hordalékon túl a mederanyagra vonatkozóan is szükséges a szemösszetétel ismerete. A VITUKI mérések alapján rögzítették egy ábrán a görgetett hordalék, a mederanyag és a lebegtetett hordalék szemösszetételi görbéit is, szelvényenként (9. ábra). Ezekkel a jelentős adatokkal a szelektív erózió is tovább vizsgálható. A vizsgált

szakaszon ez a kérdéskör igen fontos, hiszen a szelektív erózió okozza a szakasz jellegzetességének számító eséstörést. A görbék összevetése alapján látható, hogy a görgetett hordalék szemösszetétele jelentősen finomabb a mederanyagénál. Ez azt jelenti, hogy az alvízi szakaszra érkező finomabb hordalék érkezik, mint a mederanyag. Az eséstörés alvívén az esés csökkenése a szelektív erózió által az érkező hordalékszemcsék egy része lerakódik, ami egyrészt mederszint emelkedést, másfelől a mederanyag finomodását eredményezi. Az eséstörésnél Gönyű felett 25-40 cm/km közötti esés értékek alakulnak ki és Ausztria felé még meredekebb szakaszok is előfordulnak. Gönyű alatt pedig már 8-10 cm/km-es vagy ettől kisebb esés dominál (Tóry, 1952).

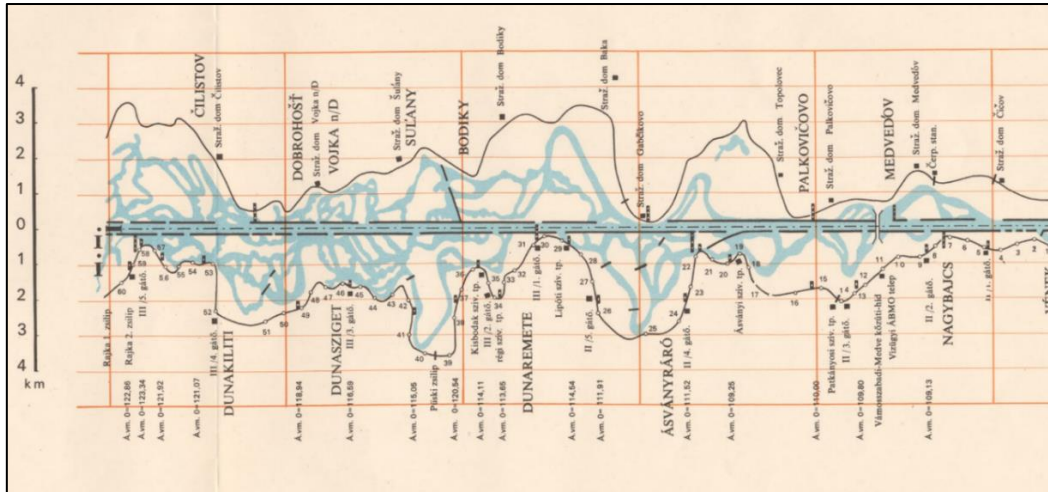


9. ábra: Szemösszetételi görbék Nagybaucsnál (VITUKI, 1954)

EREDMÉNYEK

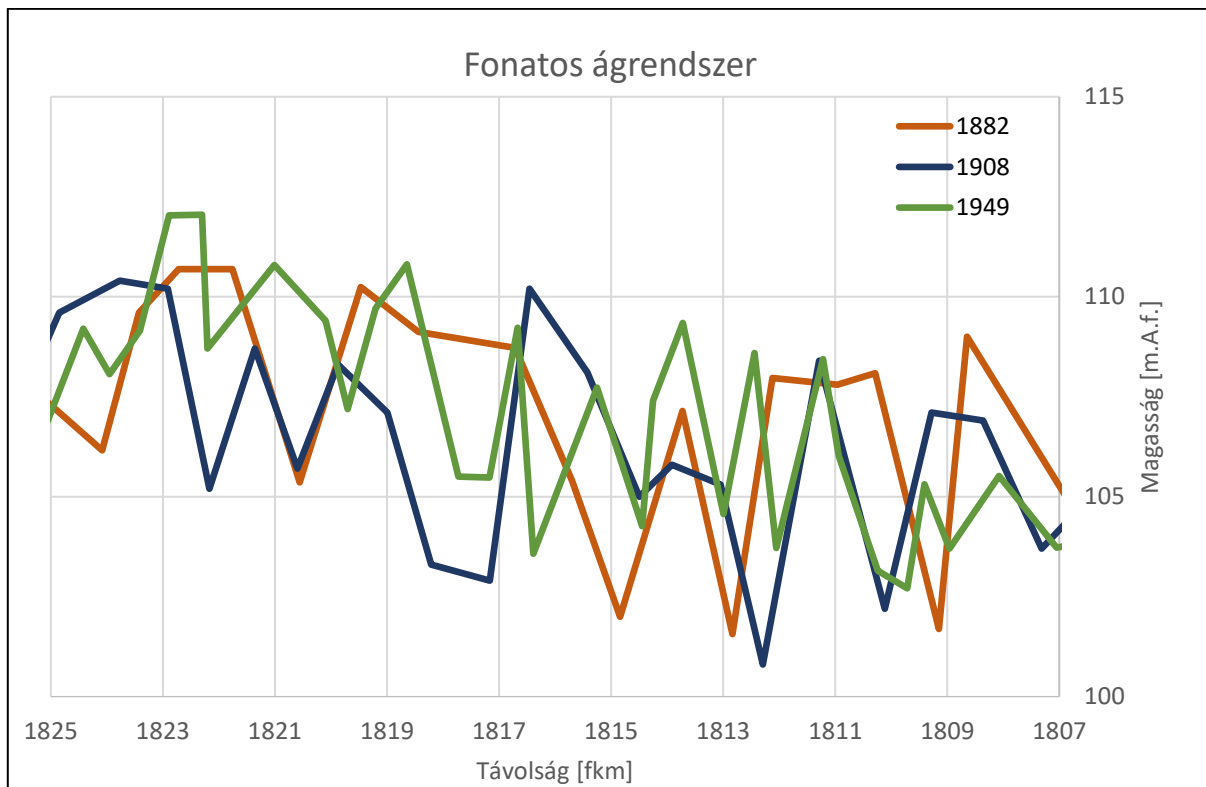
Fonatos ágrendszer szabályozása

A szabályozás előtt a Felső-Duna fonatos jelleget mutatott. A szabályozás célja egy főmeder kialakítása volt, ami előnyösebb hajózási feltételeket biztosít, illetve jobb árvízlevezető képességet. A 10. ábra mutatja be a vizsgált, fonatos jellegű szakaszt.

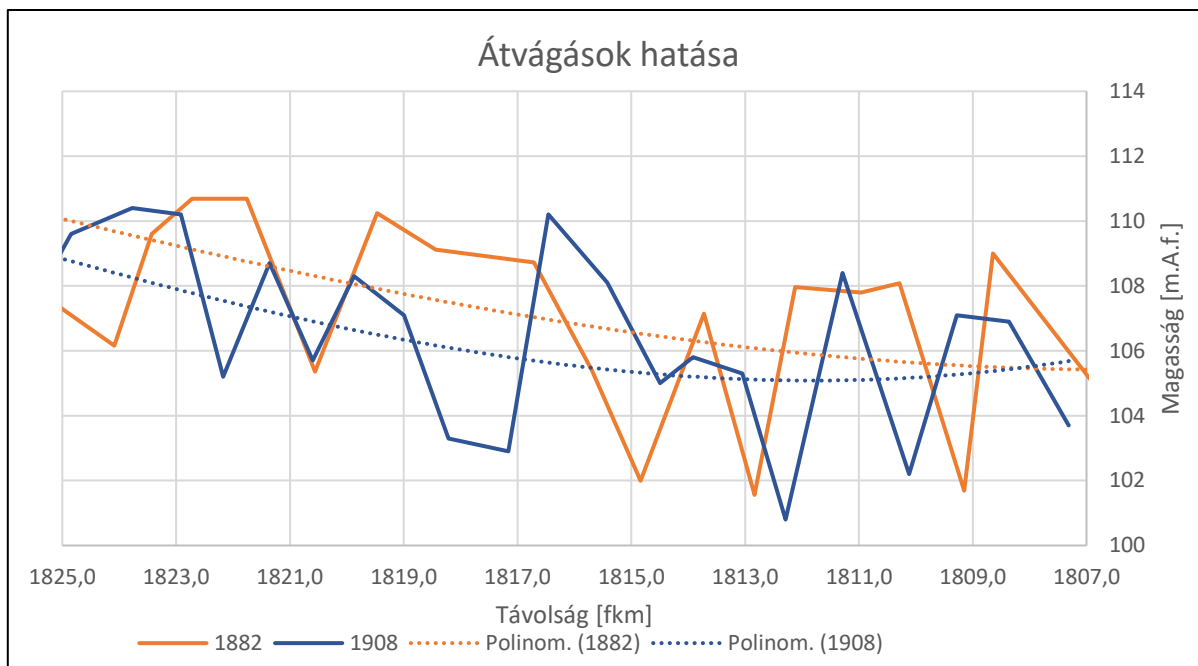


10. ábra: Fonatos ágrendszer a magyarországi Felső-Dunán (VITUKI, 1954)

A fonatos ágrendszerben a kanyarulatok átvágásával a folyó hossza is értelemszerűen megrövidült, továbbá a munkálatokkal a hordalékháztartás is változott. Három hossz-szelvényt hasonlítottunk össze, amit a 9. ábra mutat be.

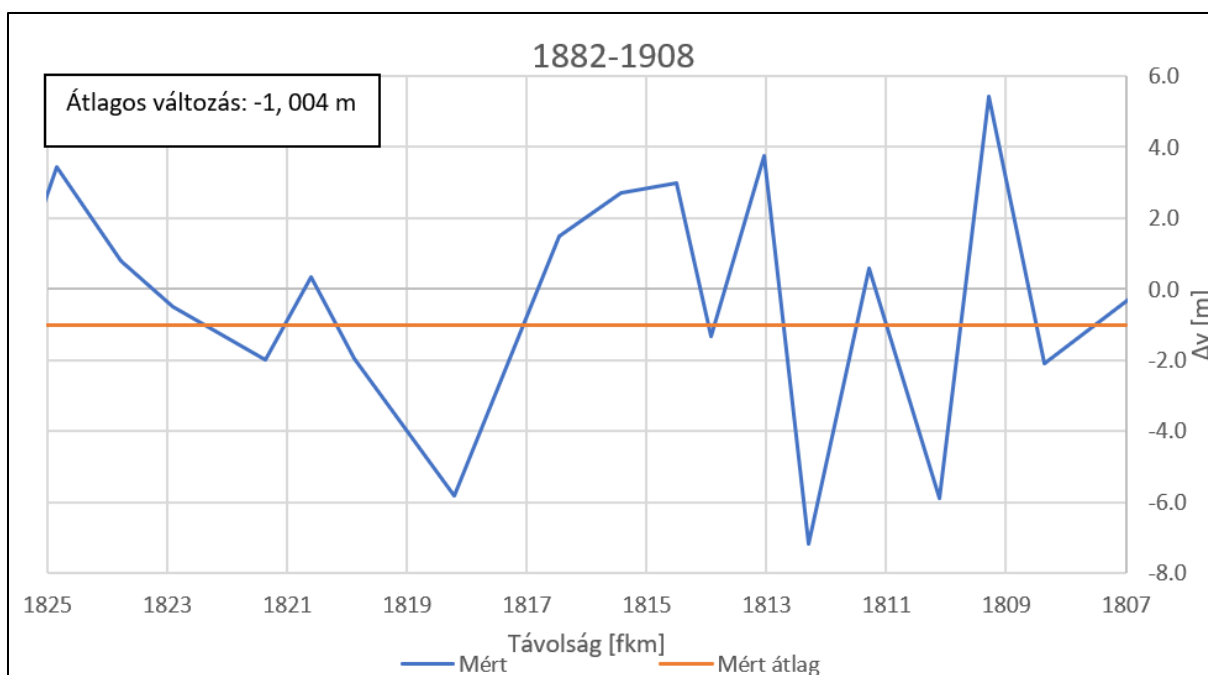


11. ábra: Hossz-szelvények az eredetileg fonatos ágrendszerű szakasról



12. ábra: Átvágások hatásának trendelemzése

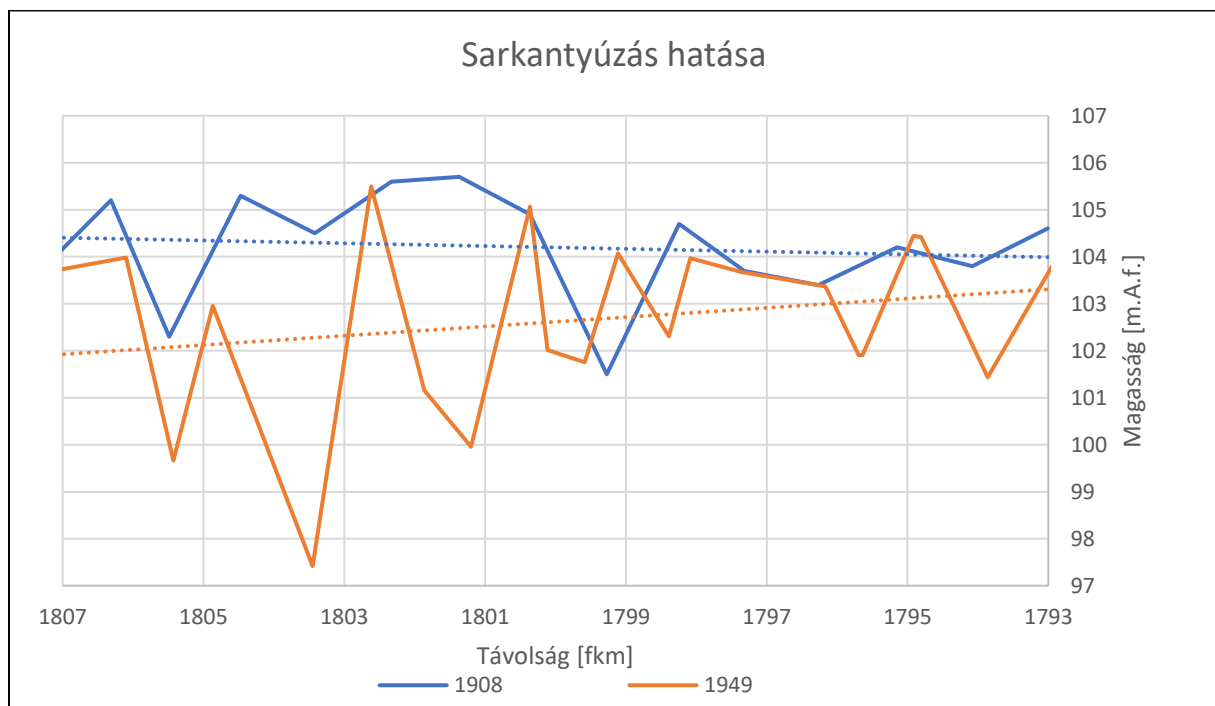
Az 1882-es és az 1908-as hossz-szelvénynél trendelemzést végeztünk, melyet a 12. ábra ismertet. Az illesztett trendek (szaggatott vonalak) arra utalnak, hogy az átvágások következtében medersüllyedés ment végbe, amelynek hatása az ~1808 fkm szelvényig tapasztalható. A két hossz-szelvény különbségét a 13. ábrán lehet látni, illetve a trendek alapján kiszámítottuk az átlagos süllyedést, amely közel 1 m-es átlagos süllyedést adott.



13. ábra: Mederszint különbségek összevetése

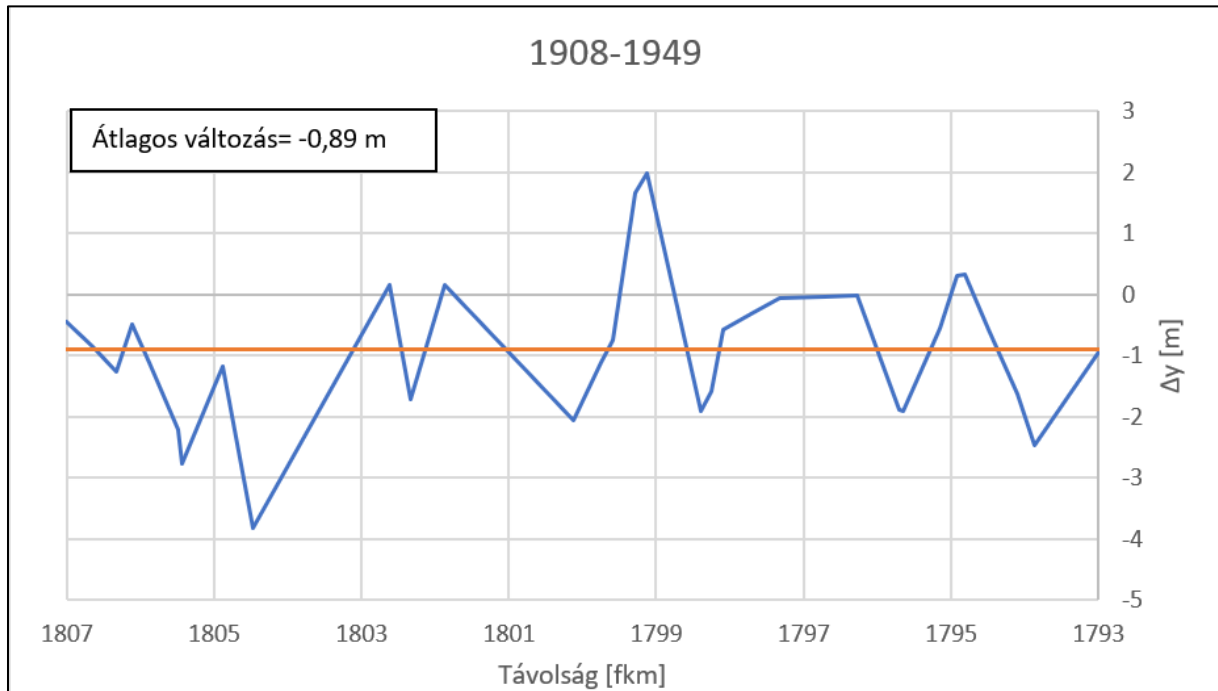
Sarkantyúk beépítése

A sarkantyúk esetében 1807 fkm és 1793 fkm közötti szakaszt vizsgáltuk meg. Ezen a szakaszon két sarkantyúsort is létesítettek, a medveit és a nagybajcsit. Ezen szakaszon a sarkantyúk 1938 és 1944 között épültek meg (Tóry, 1952), ezért az 1908-es és az 1949-es hossz-szelvényeket hasonlítottuk össze, hiszen ebben az időtartományban épültek meg. A 14. ábrán látható az említett két hossz-szelvény összehasonlítása. A diagrammon megfigyelhető, hogy vannak hirtelen lokális kimélyülések is, melynek több magyarázata is lehet. Az illesztett görbék (szaggatott vonalak) alapján megfigyelhető, hogy a sarkantyúval érintett szakaszon az alvízi irányába fokozatosan csökken a medersüllyedés mértéke. A 15. ábrán a hossz-szelvények különbsége látható, ahol a korábban említett lokális hirtelen mélyülések is hangsúlyosan kirajzolódnak (1801fkm és 1802,5 fkm). Ebben az esetben is kiszámítottuk az átlagos mederváltozást, amely közel 1,7 m-es süllyedést eredményez. Az eredményt a két lokális kimosódás nagyban befolyásolta, emiatt megvizsgáltuk, hogy ezen részen milyen beavatkozások okozhatták ezt a jelenséget. Azt találtuk, hogy ahol lokális kimélyülés van, ott a mindkét oldalon létesítettek sarkantyúkat. Feltehetően ezeken a helyeket a sarkantyúk fejénél jellemzően kialakuló kopolyaképződés (helyi kimélyülés) duplán jelentkezett, ami a szelvény menti átlagos mederszintet intenzívebb erózióra bírta, mint az egyoldalian sarkantyúzott szakaszok esetében. A 16. ábrán látható a kitézési térkép és szintén jelöltük rajta a két kérdéses részt, amely megegyezik a hossz-szelvény kérdéses részeivel.



14. ábra: Sarkantyúk beépítésének hatása

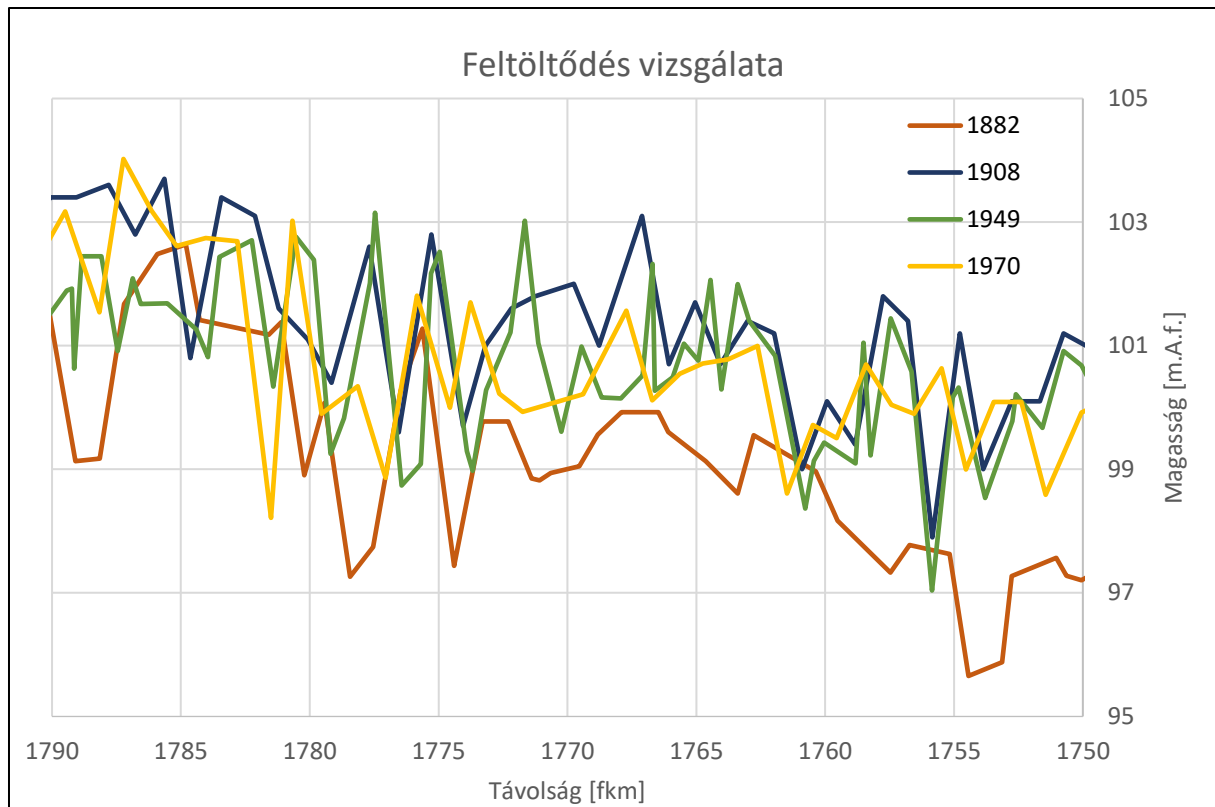
A bemutatott okok miatt vizsgálatunkat megismételtük úgy, hogy a két lokális pontot nem vettük számításba az átlagos medermélyülés becslésénél, melynek eredményét a 17. ábra mutat be. A két kérdéses rész elhagyásával az látható, hogy az átlagos süllyedés majdnem felére csökken és ezt az eredményt már reálisabbnak tartottuk.



17. ábra: Korrigált különbségek

Feltöltődés

Már a bevezetésben is említettük, hogy a vizsgált szakasz egyes részein mederfeltöltődés ment végbe az elmúlt időszakban. Jelen fejezetben azt vizsgáltuk meg, hogy a 20. század első felében milyen tendenciát követnek a mederváltozások a korábbi beavatkozások (kanyarulat átvágások, sarkantyúzás) alvívén. A vizsgálatunkhoz a 18. ábrát vettük alapul, ahol az látható, hogy az alvívén az átvágások után elkezdett töltődni a meder (narancssárga és kék vonalak). Az 1750 fkm-es szelvényben 1882 és 1908 között ~3 méteres töltődést lehet látni. A hossz-szelvények azt is megmutatják, hogy az 1949-es hossz-szelvény (zöld) valamelyest követi az 1908-ast, de a korábbi trendtől eltérően kismértékű erózió jelentkezik. Az 1970-es hossz-szelvényénél látványosabban látható, hogy kimosódás van jelen.



18. ábra: Feltöltődés hossz-szelvény alapú vizsgálata

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunkban a magyarországi Felső-Duna egy kijelölt szakaszának a morfordinamikai változásait vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a vizsgált szakaszon a dinamikus egyensúlyi állapot nem áll fenn, amire a szelvények közti jelentős szemcseméret különbség utal, továbbá az esés értékekben és a hordalékhozam értékeiben is jelentős különbség mondható el. A vizsgált szakasz kezdő szelvénye Dunaremete (1825,5 fkm) és a kifolyási szelvénye Dunaalmás (1752,0 fkm), az említett két szelvény között egy eséstörés helyezkedik el Gönyű környezetében. A hordalékhozam változása és a szemcseméretetek változása a szelektív eróziós folyamat jelenlétét támasztják alá és az eséstörés kialakulását is magyarázza.

Két beavatkozás hatását vizsgáltuk meg. Az egyik a 19. századi fonatos ágrendszer átvágása volt. A beavatkozás nem csak lokálisan volt jelentős volt, hiszen a beavatkozással nem csak a medergeometria változott, hanem a hordalékjárat és a mederesítés is (az érintett szakasz hosszának lerövidülése miatt). A hossz-szelvények összehasonlításával azt az eredményt kaptuk, hogy átlagosan ~1 m-es süllyedés ment végbe a vizsgált időszakban. A másik beavatkozás a sarkantyúk beépítése, ahol a hossz-szelvények összehasonlításnál jól detektálható volt két lokális kimélyülés. A helyszínrajz alapján ezen a két pár száz méteres szakaszon kétoldali sarkantyúkat telepítettek, ami más szakaszokra nem jellemző. A lokális kimélyüléseket ezzel magyarázzuk. Az említett két lokális mélyülést nem vettük számításba a vizsgált időszakra számított átlagos mederváltozáshoz, így 0,89 m-es átlagos süllyedést

kaptunk. Végül a beavatkozások alvízi szakaszán vizsgáltuk a mederváltozási trendeket. Azt tapasztaltuk, hogy az alvízen 1882 és 1908 között jelentős feltöltődés ment végbe, míg 1908 és 1970 egyre intenzívebb medersüllyedés volt tapasztalható. Úgy véljük, hogy vizsgálataink későbbi modellvizsgálatok alapját képezheti, illetve modelligazolási célokat is szolgálhatnak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Kulturális és Innovációs és Minisztérium ÚNKP-22-1-I-BME-72 és az ÚNKP-22-5-BME-279 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

A közleményben bemutatott kutatás a második szerző esetében a Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának támogatásával, valamint a PD 135037 számú, a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított OTKA posztdoktori kiválósági pályázati program finanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- E. Lanfranconconi: Magyarország ármentesítése, 1882
- E. Nyiri: Folyók dinamikus egyensúlyi állapotát becsülő eljárás kidolgozása és alkalmazása a magyarországi Felső-Dunán, BME-ÉMK TDK, Budapest, 2020
- E. Nyiri: Folyómedrek egyensúlyi állapotának nagy tér-idő léptékű vizsgálata 1D modellezéssel, BME-ÉMK TDK, Budapest, 2021
- ÉDUVIZIG: A Duna 2022-2023 évi hajóút-kitűzési terve az 1811-1708 folyamkilométerek közötti szakaszon, 2022
- Google Maps, online légifelvétel, Google, <https://www.google.hu/maps>, 2022
- K. Holubová, Z. Capeková, and J. Szolgay: Impact of hydropower schemes at bedload regime and channel morphology of the Danube River, in River Flow 2004: Proceedings of the Second International Conference on Fluvial Hydraulics, 2004, no. 1, pp. 135–142
- J. Bogárdi: A hordalékmozgás elmélete. Budapest, Hungary: Akadémiai Kiadó, 1955
- K. Tóry: A Duna és szabályozása, Budapest, Hungary: Akadémiai Kiadó, 1952.
- M.kir. Állami nyomda: Duna hossz-szelvénye Dévény-Budapest között 3321/910, 1910
- Országos Vízügyi Főigazgatóság, Vízirajzi Évkönyvek. Vízügyi honlap: <https://www.vizugy.hu/print.php?webdokumentumid=1524>, 2022
- OHV Vízirajzi osztály, Budapest, 1949
- VITUKI Tanulmánytár XXVI. 5/b (77-78), 1954 51