

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

**Kanyarulatfejlődés vizsgálata egy hazai túlfejlett
kanyarulat példáján**

Tudományos Diákköri Konferencia 2023

Készítette: Magos István Barnabás

Konzulensek: Dr. Török Gergely Tihamér, Dr. Fleit Gábor

Tartalomjegyzék

Absztrakt	3
Bevezetés	4
Mintaterület bemutatása	
• Az Ipolyról általánosan	8
• A mintaterület hidrológiai adatfeldolgozása	9
• A vizsgált kanyarulat bemutatása	12
• A vizsgált meander történelmi fejlődése	14
A vizsgálat során alkalmazott módszertanok	
• Terepi mérések	15
• Laboratóriumi mérések	19
• Adatfeldolgozási módszerek	20
Eredmények	21
Összegzés	29
Bibliográfia	30
Köszönetnyilvánítás	31

Absztrakt

A folyók természetes viselkedésének lényeges eleme az oldalirányú erózió okozta kanyarulatfejlődés (meanderezés). Ez hazánkban sajnos kevés folyó esetén figyelhető meg, hiszen csak kevés folyószakasz mentes a folyószabályozási művek alkalmazásától (elsősorban kanyarulatátvágások és partvédelem). A meanderezés dinamikájának kutatása hazai viszonylatban azért fontos, hogy összevethető legyen a természetes és mesterséges állapot: azt szeretnénk megbecsülni, hogy a folyóink természetes állapotát milyen mértékben változtatjuk meg nagy időléptékben a szabályozások révén.

Mintaterületként az Ipoly szinte érintetlen szakaszának egy túlfejlett kanyarulatát választottuk, ahol belátható időn belül kanyarulatlefűződésre (neck cutoff) lehet számítani. Az augusztusi kisebb ipolyi árhullám levonulása előtt és után is felmértük a part és a meder geometriáját, illetve a folyó áramlási viszonyait, remélve, hogy következtetést tudunk levonni a kanyarulatfejlődés üteméről. Számos mederanyagmintát vettünk, illetve mintát a szakadó partfalból, melyek kiértékelésével a kritikus medercsúsztató-feszültséget kívántuk becsülni. Azt a kanyarulatban felmért áramlási viszonyokkal összevetve, a folyó munkavégző képességét szeretnénk volna hozzávetőlegesen meghatározni. Optimális esetben ezt a mederképző vízhozam esetén szükséges felmérni, erre azonban a vízjárás nem nyújtott lehetőséget.

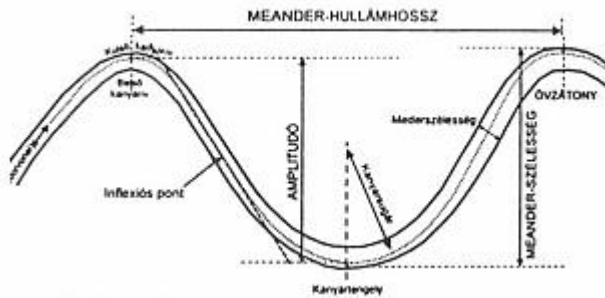
A munkavégző képesség ismeretének birtokában a kanyarulat további fejlődési folyamatának vizsgálata a szándékunk. Ehhez jelen dolgozatban egy alkalmazható módszertant prezentálok, amit kedvezőbb vízjárási állapotban történő mérési kampány esetén lenne célszerű kivitelezni. A vizsgálatom továbbá 2D és 3D modellezési feladatokat alapoz meg, amik a kanyarulatfejlődés vizsgálata kapcsán távlati célként fogalmazódnak meg. Modellünket természetesen finomítani törekedtünk azzal, hogy a vizsgált kanyarulatról készített korábbi térképeket vagy egyéb dokumentációkat áttanulmányoztuk, hogy nagyjából megállapíthassuk a korábbi kanyarulatfejlődés ütemét és mértékét.

Vizsgálati módszertanunktól azt reméljük, hogy azok adaptálhatóak lesznek nagyobb folyóink morfológiai vizsgálataihoz is.

Bevezetés

Minden vízfolyás életében jelentős meghatározó tényező a kanyargósság, vagyis a meanderezés, amely a meder inhomogenitásának következménye. A mederformáló víz építőanyaga és munkaeszköze a hordalék.

Az inhomogenitás következménye, hogy a sodorvonal közelebb húzódik az egyik parthoz, mint a másikhoz, így a sodorvonaltól távolabb lévő part közelében lassabb lesz az áramlás, és

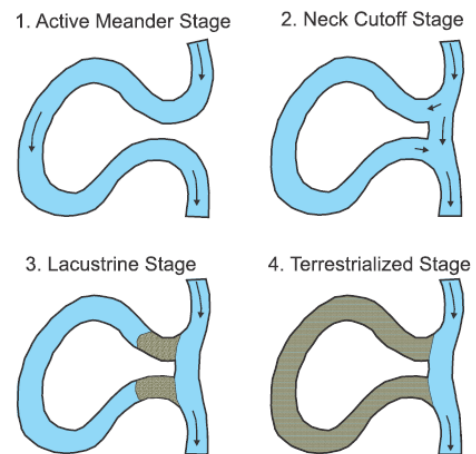


1. ábra: A meander geometriai paramétereit (Gregory és Walling, 1973)

lehetőség nyílik a hordaléklerakódásra. A folyó munkavégző képessége a hordaléklerakódás növekedésével szintén növekszik, így a víz a felszabaduló energiáját a sodorvonalhoz közelebbi partfal megbontására használhatja.

Megkezdődhet a kanyarulat fejlődése,

melynek során a sodorvonalhoz közelebbi, homorú oldal fokozatosan pusztul, a domború pedig épül. Ahogy két egymást követő kanyarulat inflexiós pontjai (1. ábra) egyre közelebb kerülnek egymáshoz, kialakul a túlfejlett kanyarulat. Árhullám idején a mederből kilépő vízfolyás közvetlenül át tud lépni a következő kanyarba, a az így felfokozott erózió pedig át tudja szakítani az elkeskenyedett meandernyakat, és bekövetkezik a kanyarulatlefűződés (neck cutoff). Az átszakadás helyén a megnövekedett esésviszonyok miatt gyorsabb lesz az áramlás, így a lassú vízmozgású leszakadt kanyarok feliszapolódnak, és természetes körülmények között holtágak, morotvák alakulnak ki, amelyek fokozatosan feltöltődnek. Így alakulnak ki a tükörsíma felszínű alföldek.



2. ábra: A meanderfejlődés lépcsői (Richards és Konsoer, 2019)

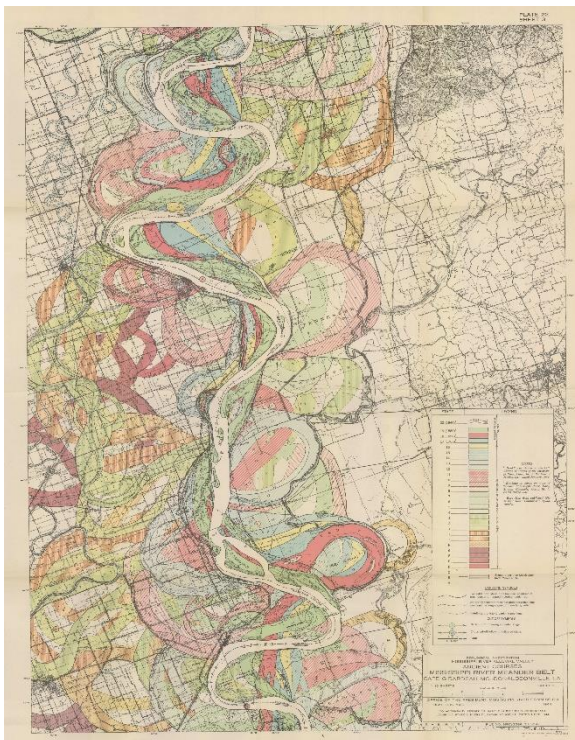
Állandó medergeometriájú vízfolyás a természetben nem létezik, még úgy sem, ha kiindulási állapotként homogén medret feltételezünk. Múlt századi úttörő vízmérnökünk, Németh Endre is érdeklődött azon laboratóriumi kísérletek iránt, melyek először bizonyították, hogy belátható időn belül így is kanyargóssá válik a meder, a harmadik ábrán látható módon.

A vízfolyásmedrek folyamatos vándorlásban vannak. A Mississippi helyszínrajzi változásairól készített a 20. század derekán egy nagyon szemléletes térképet (4. ábra) Harold Fisk geológus-



3. ábra: Laboratóriumi kísérlet a homogén meder kanyargóssá válásának üteméről (Németh Endre: Hidrológia és hidrometria, Tankönyvkiadó, Budapest, 1959)

térképész. Egészen az őskorig visszamenőleg a folyó minden korszakra jellemző helyszínrajzi alakját ábrázolta egyetlen térképen eltérő színekkel. Látható, hogy valamikor a történelem



4. ábra: Harold Fisk egyik térképe a Mississippi (http://www.radicalcartography.net/index.html?fisk)

különböztet meg a fenti szempontok szerint. A két előbbi típus kisebb folyóvizekre, az utóbbi kettő – B2 és C – pedig nagyobb vízfolyásokra érvényes (Tímár-Telbisz).

folyamán minden környező terület a Mississipp medrének részét képezte.

Mint azt Fisk itt látható térképe is bizonyítja, a meder vándorlása, helyváltoztatása és a kanyarulatlefűződés folyamata csak nagy időléptéket tekintve feltűnő.

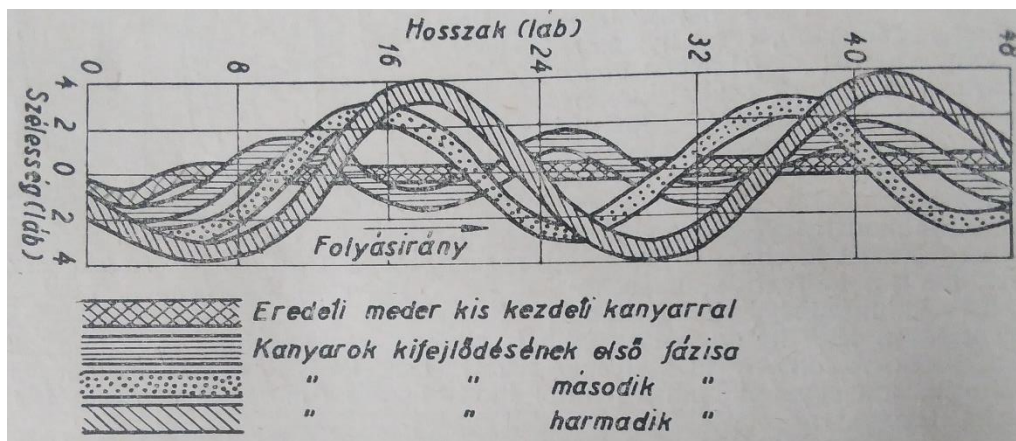
A meanderek csoportosíthatók vándorlási idő szerint is, vagyis normálva a mederszélességgel milyen ütemben változtatja kereszt- és folyásirányú elhelyezkedését az adott típusú meander. Innen pedig az a kézzelfoghatóbb paraméter következik, hogy mennyi időbe telik amíg egy mederszélességnivel változik meg a meander helyzete. Az 5. ábra amerikai folyókon végzett mérések után négy meandertípust

Meander típus	Oldal irányban	Lefelé	Hány év alatt vándorol egy mederszélességnyi?
A	0,0015	0,0025	343
B1	0,004	0,0023	217
B2	0,004	0,007	124
C	0,008	0,015	59

5. ábra: Négy meandertípus fajlagos vándorlási üteme amerikai példák alapján (Tímár-Telbisz, 2005)

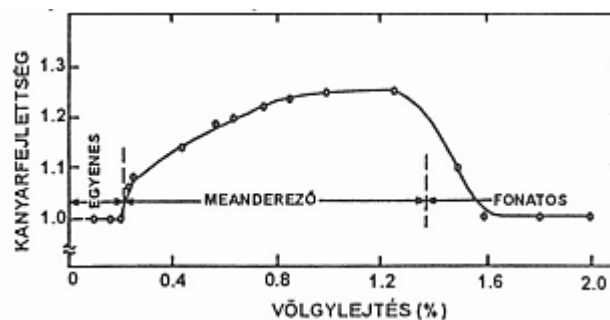
De magyar folyókkal kapcsolatos kutatásokat is hozhatnánk példának; a Tisza kanyarulatfejlődésének mértéke 1890 és 1931 között 2,5-32,5 m/év volt (Károlyi, 1960). A Duna sárközi szakaszán pedig a kanyarulat kialakulásától annak lefűződéséig úgy 150 év telik el. (Somogyi, 1974).

A meanderezés jelenségét fontos kutatási területnek tartom, abban az esetben is, ha csak egy rövid szakaszon, mondjuk egyetlen kanyarulaton hajtunk végre vizsgálatot, – mint jelen kutatás esetében is – hiszen egy kanyarulat idővel a teljes vízfolyáson érezteti hatását (Németh). Látható a 6. ábrán szereplő kutatás eredményén is, hogy egy kis kezdeti kanyar milyen mértékű kanyarulatfejlődést képes indukálni egy vízfolyáson, idővel valóságos kanyarulatláncolat képződik a hatására. Ennek oka igen egyszerű; a kezdeti kanyarból által eltérített sodor közelebb csapódik a kanyart elhagyva az átellenes parthoz, és lassan megkezdzi annak is az erózióját és így tovább.



6. ábra: Kanyarulat továbbfejlődése (Németh Endre: Hidrológia és hidrometria, Bp., 1959)

Folyószabályozáskor is mindig előtérbe kerül a meanderezés, hiszen az árvízvédelem célja, hogy a folyó fejlettségi száma, vagyis a középvonal hosszának, illetve a folyó által elfoglalt sávhossznak a hányadosa minél kisebb legyen, így a folyó átlagos esése nagyobb lesz, vagyis jobb árvízlevezetőképességű. Persze csak egy határig lehet érdemes egy vízfolyás esetét növelni az árvízveszély csökkentése érdekében, hiszen egy határon túl a nagy esés nemhogy csökkenti, hanem növeli a folyó meanderezési hajlamát (7. ábra), hiszen a növekvő esés az áramlási sebességet növeli, ami pedig



7. ábra: Meanderezés fejlettsége a lejtés függvényében (Schumm-Khann, 1972)

a turbulenciát, az pedig a folyó parterodáló képességét növeli.

A Tisza szabályozásakor 112 átvágással rövidítették le a folyó magyarországi szakaszát a beavatkozás előtti hossz kevesebb mint kétharmadára, fejlettségi számát pedig 2,4-ről 1,5-re csökkentették. A meanderezés tehát a folyószabályozás legnagyobb vesztesének számít!

A vízgazdálkodási és agrárgazdasági szempontok azonban teljesen ellentmondanak az árvízvédelmieknek, hiszen az az ideális állapot, ha a kanyargó folyó le tudja rakni tápanyagban gazdag hordalékát.

A meanderező folyó kanyarulatai által elfoglalt területsáv 18-20 szorosa a középvízi mederszélességnek, egy természetes állapotú folyónak tehát ennyivel több helye van kifejteni jótékony hatását a környező területekre, mint egy szabályozott folyó, ami csak átrohan az országon. Ezért is tartom lényegesnek a meanderezés dinamikájának kutatását, hiszen, ha behatóbban tudnánk, mire számíthatunk egy vízfolyás részéről, talán hozzásegíthetne ahhoz, hogy az ellentétes érdekek között megtalálhassuk az optimális megoldást a folyószabályozási beavatkozások alkalmával.

Vizsgálatom célja egy olyan eljárás kialakítása, melynek révén monitoringozhatóvá válhatna a kanyarulatfejlődés és lefűződés folyamata. Mintaterületül az Ipoly egy érintetlen túlfejlett kanyarulatát választottuk.

Mintaterület bemutatása

- Az Ipolyról általánosan

A szlovákiai Vepor-hegység közel 1100 méteres magasságában eredő 5108 km²-es vízgyűjtőterülettel rendelkező Ipoly 215 km hosszú útja alatt 125 km-en képez államhatárt Magyarország és Szlovákia között, majd végül Szobnál a Dunába torkollik. Hazánkban az Ipoly a Duna egyetlen baloldali mellékfolyója (<https://iper.vizugy.hu/AboutIpoly.aspx>).

A folyó esése jelentősnek mondható, az alsó szakaszán is – Balassagyarmattól a szobi torkolatig – még átlagosan 32 cm/km. Medrének anyaga főleg agyagos homok, hordalékszállítása csekély. Az Ipolyt a hazai legszeszélyesebb folyóként szokás emlegetni, hiszen kis- és árvízi hozamai között majdnem kilencszázszoros különbség is előfordulhat. Sokféle arcot mutathat a kiszáró félben lévő pataktól a egészen hajózható folyamig. (<https://www.dunaiopoly.hu/hu/helyek/vedett-teruletok/duna-ipoly-nemzeti-park/az-ipoly>)

A heves áradások kialakulásának oka, hogy a vízgyűjtőterületéhez képest rövid folyó az Ipoly, van esély tehát hatalmas víztömegek felhalmozódására. Talán éppen szeszélyessége miatt gondolták úgy a folyószabályozási lázban égő 19. században is, hogy az Ipolyon nem érdemes jelentős beavatkozásokat tenni, ekkor csak néhány kisebb szabályozási munkára került sor Beszédes József irányításával (Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv, 1-8 Ipoly, 2010).

Sajnos a 20. század második felében már nem volt ilyen megfontoltság, és az Ipoly nagyrészt erőteljesen szabályozták. Eredeti 257 km-es hossza a szabályozást követően 215 km-re rövidült. A feljebb leírt Tisza-szabályozás azért jóval radikálisabb beavatkozás volt, hiszen könnyen kiszámítható, hogy az Ipoly a szabályozással hossza és fejlettségi száma mintegy 16 százalékkal, a Tisza esetében ugyanezen paraméterek úgy 37 százalékkal csökkentek. Az ipolyi szabályozás része volt nyolc duzzasztómű kivitelezése is (8. ábra), melyek a rárópusztai kivételével mind szlovák tulajdont képeznek.

Az ipolyi beavatkozásokat azóta számos kritika érte (pl. Ruzsinné-Tóth, 2013). Nem csupán ökológiai, hanem hétköznapi problémákat is okozott az erőteljes

Duzzasztó	FKM	Típusa
Kiskeszzi	18+02	duzzasztómű
Ipolyszakallos	32+790	duzzasztómű
Szete	40+00	duzzasztómű
Ipolyvisk	49+33	duzzasztómű
Ipolyság	58+40	duzzasztómű
Ipolynagyfalu	77+19	duzzasztómű
Ipolybalog	83+05	duzzasztómű
Rárópuszta	139+95	vízivételi duzzasztómű

8. ábra: Az ipolyi duzzasztók összefoglaló táblázat (Vízgyűjtő-gazdálkodási terv, 1-8 Ipoly, 2010)

szabályozás; a folyó jelentősen mélyítette azóta medrét a szabályozott szakaszokon, ennek következtében pedig a talajvízszint több lakott vidéken is vészesen lesüllyedt a Duna-Ipoly Nemzeti Park tájékoztatása szerint.

Némi optimizmusra adhat okot, hogy maradtak azért emberi beavatkozásoktól mentes Ipoly-szakaszok is. Mintaterületünk is egy ilyen szakaszon található Hont térségében. A szabályozatlan folyószakaszokon igazán impozáns látványt nyújtó árvízi előntések figyelhetők meg, az utolsó ilyen idén januárban volt tapasztalható (9. ábra).



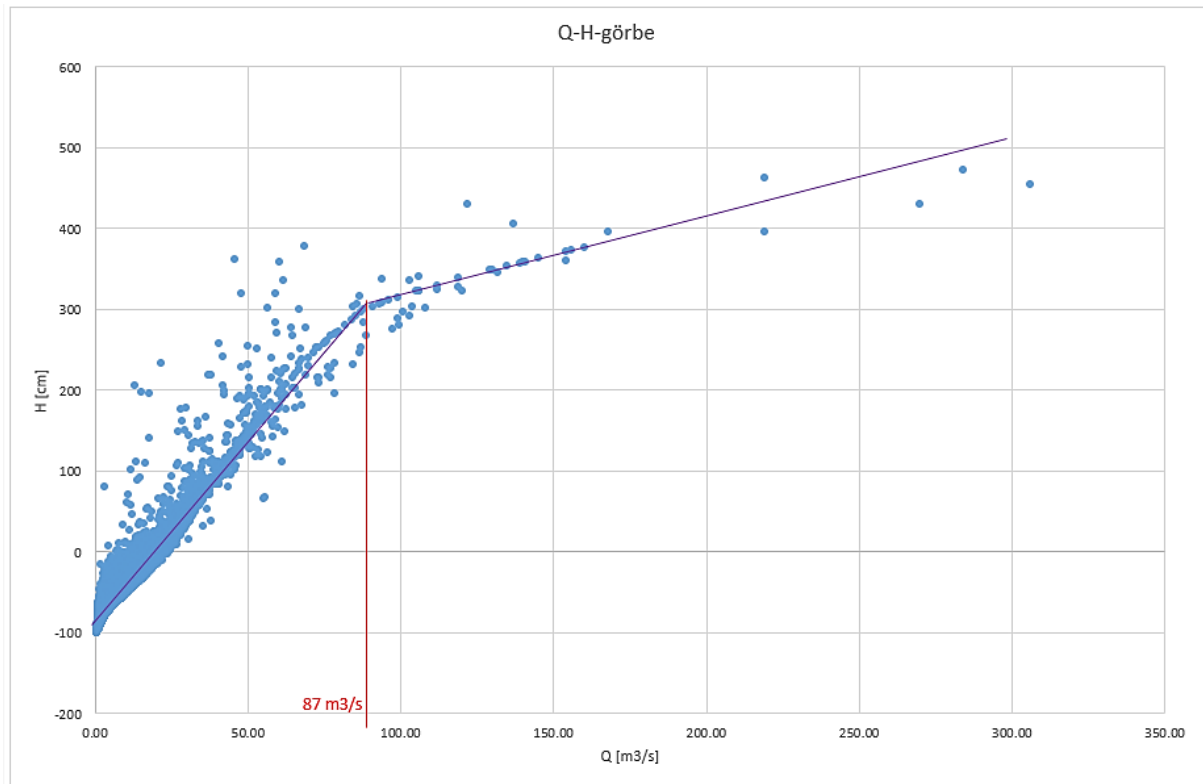
9. ábra: A medréből kilépő Ipoly (Molnár Ábel Péter drónfelvétele, 2023.01.29)

- A mintaterület hidrológiai adatfeldolgozása

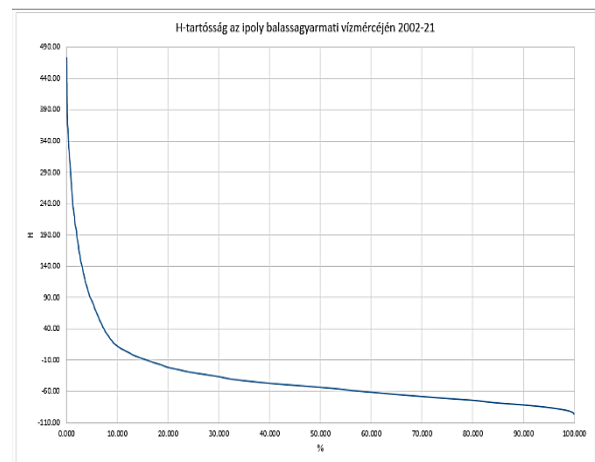
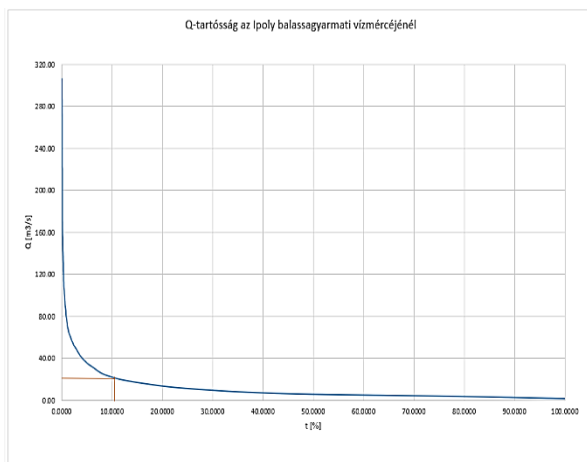
A vizsgálati helyszínül kiválasztott kanyarulat hozzávetőlegesen félúton fekszik az ipolytölgyesi és a balassagyarmati vízmérce között. Az utóbbi, balassagyarmati vízmérce adatait tekintetem mértékadónak vizsgálataim során, mivel sem számottevő hozzáfolyásról, sem jelentős vízkivételről nem tudok Balassagyarmat és a vizsgálat helyszíne között, viszont a kanyarulatunk és Ipolytölgyes között több kisvízfolyás is beletorkollik az Ipolyba (pl. Oszán-patak, Börzsöny-patak), amelyek árvíz idején jelentős hozamot képviselhetnek.

A balassagyarmati vízmérce 2002-2021 közötti húsz évnyi napi átlagos vízszint- és számított hozamértékeinek birtokában megszerkeszthettem a Q-H-görbét, illetve a két hidrológiai paraméter tartóssági görbéit erre az időintervallumra vonatkozóan (lásd a következő oldalon). A Q-H-görbe trendjén látható törés elárulja a mederkitöltő vízhozam értékét, hiszen azon hozamnál és vízszintnél kell változzon a görbére illeszthető trend meredeksége, ahol a víz kilép

a hullámtérre, a grafikonról leolvasható tehát a mederkitöltő vízhozam, ami nagyjából $87 \text{ m}^3/\text{s}$ (jelölve a 10.ábrán). Sajnos a vizsgálataink idején a vízjárás mindig messze alulmaradt ettől az értéktől, körülbelül $10 \text{ m}^3/\text{s}$ -os kisvíz idején folytattunk helyszíni méréseket, ami a Q-tartóssági ábráról leolvastva hozzávetőlegesen 28 százalékos tartósságot jelent (jelölve a 11. ábrán).



10. ábra: A mintaterületre vonatkoztatott Q-H-görbe a mederkitöltő vízhozam jelölésével

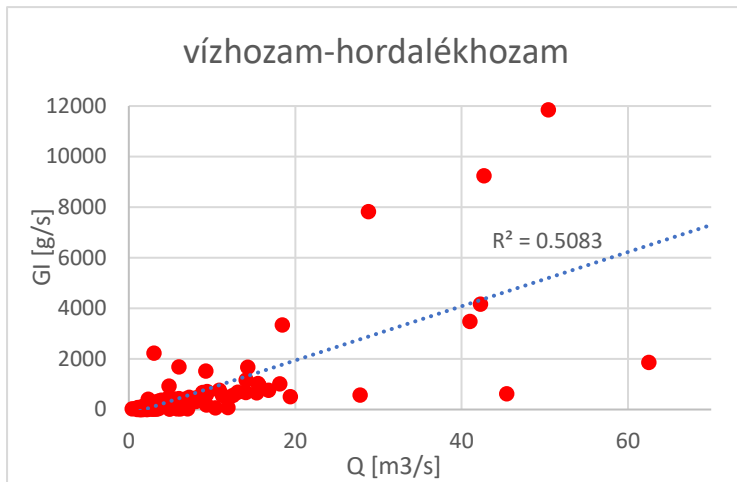


11. ábra: A mintaterületre vonatkoztatott Q-tartósság

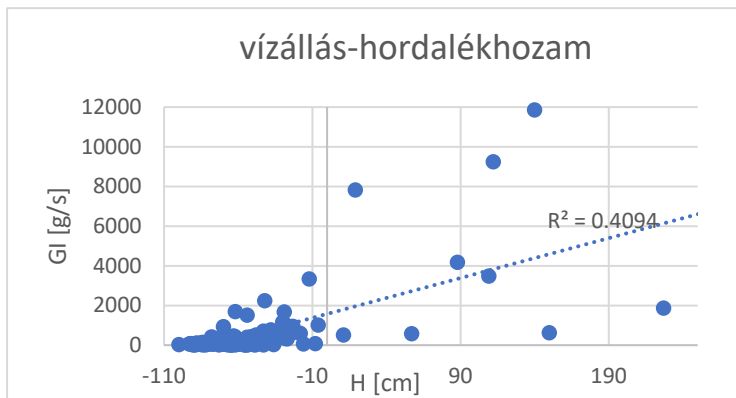
12. ábra: A mintaterületre vonatkoztatott H-tartósság

Szintén a balassagyarmati vízmérce adataiból próbáltam a vizsgált Ipoly-szakasz hordaléktranszportját jellemezni, korrelációt keresve a hozam vagy vízállás, illetve a hordalékhozam (GI), hordalékkoncentráció (Ck) és a lebegtetett hordalék jellemző mérete között (13-18. ábra). Talán a korábban említett vízgyűjtő-gazdálkodási terv megállapítása,

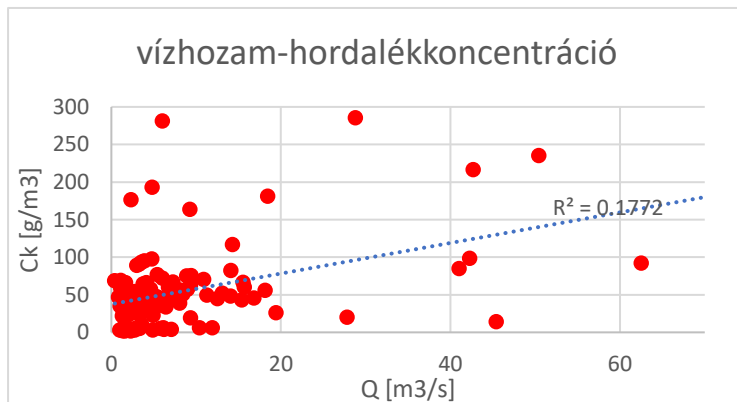
miszerint az Ipoly hordalékszállítása nem tekinthető jelentősnek, nem találtam erősnek



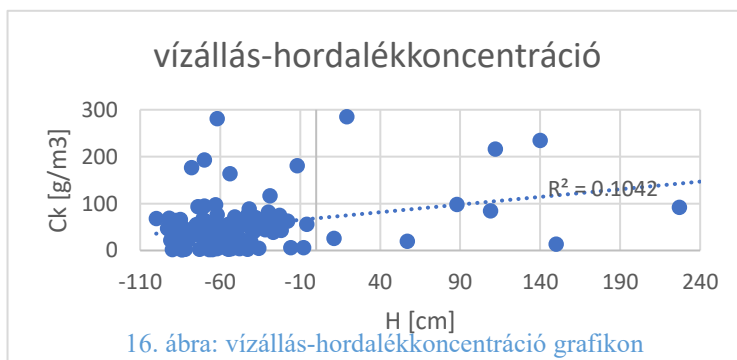
13. ábra: hozam-hordalékhozam grafikon



14. ábra: vízállás-hordalékhozam grafikon

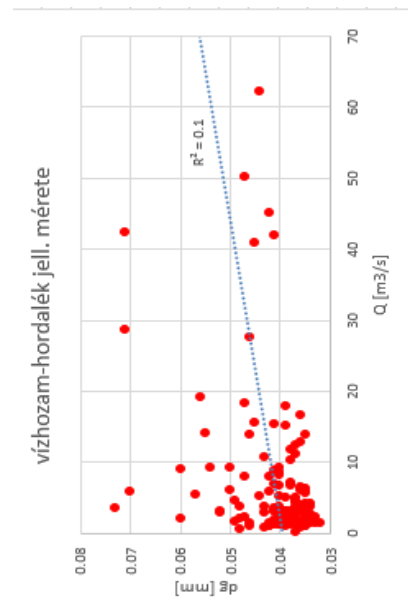


15. ábra: hozam-hordalékkoncentráció grafikon

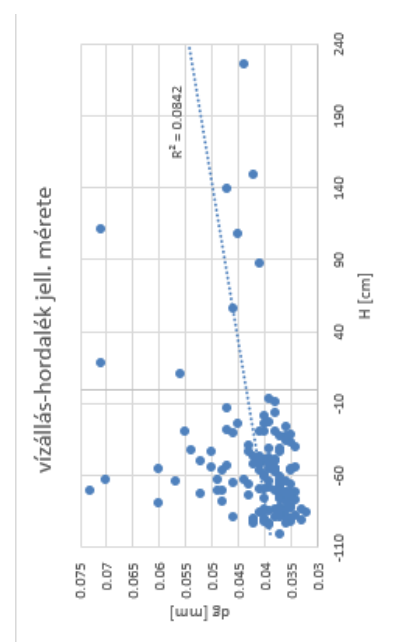


16. ábra: vízállás-hordalékkoncentráció grafikon

mondható korrelációt az említett paraméterek között. Legnagyobb korreláció a vízhozamok, illetve hordalékhozamok között volt, de ennek R^2 értéke is csupán 0,5083 volt.



17. ábra: vízhozam-hordalékszemszeméret grafikon



18. ábra: vízállás-hordalékszemszeméret grafikon

- A mederformáló csúsztatófeszültség becslése

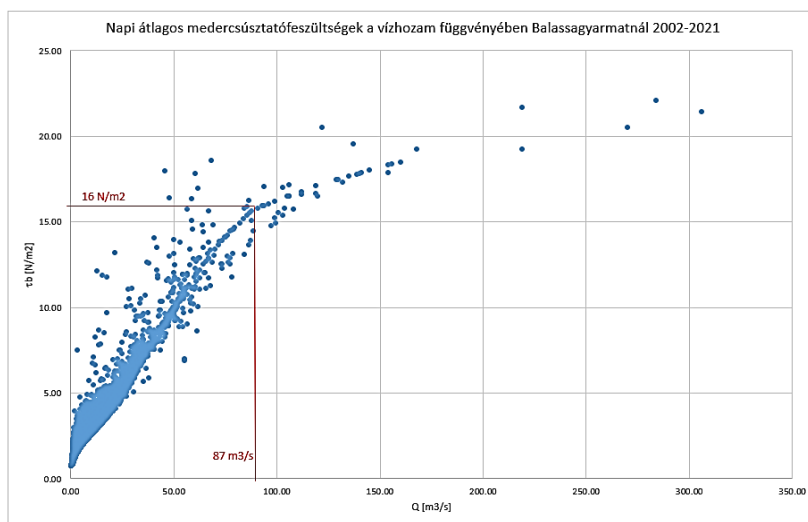
Az előző pontban már felhasznált húsz éves intervallumot felölelő balassagyarmati napi átlagos vízmélység és hozam értékekhez kiszámítottam a medercsúsztatófeszültségeket is az alábbi összefüggést használva:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot H \cdot S$$

Ahol „H” vízmélységhez először a mederfenékszint helyzetét kellett meghatározni a vízmérce nullpontjához képest. Ezt a vizsgált húsz éves időszak legkisebb hozamához (0,41 m³/s) számítottuk, feltételezve, hogy ekkor a szelvényközepsebesség 0,2 m/s-körül van (a terepi méréseinkkor 9-10 m³/s-os hozamokhoz 0,4-0,5 m/s-os szelvényközepsebességeket számítottunk). A minimális hozamot a feltételezett szelvényközepsebességgel elosztva a nedvesített keresztmetszetet kaptuk, amit téglalapszelvénnyel közelítettünk. Balassagyarmatot google maps-en megkeresve 10 méternek állapítottuk meg az átlagos mederszélességet, ezt az idealizált keresztzelvénnyel elosztva megkaptuk a minimális hozamhoz tartozó vízmélységet (20 cm), amit hozzáadva a kérdéses hozamhoz tartozó vízálláshoz (-100), kiszámítottuk hozzávetőleges pontossággal a mederfenék szintjét a vízmércén (-120). A húsz évnyi vízállás értékhez tehát ezt a 120 cm-t hozzáadva kapjuk meg azok vízmélységét.

Az „S” esés értékét a balassagyarmati és az alatta lévő, ipolytölgyesi vízmércén tett három egyidejű vízállás leolvasás segítségével számítottuk ki, és 38,1 cm/km-es esést kaptunk, amit összevetve a folyó feljebb említett alsó szakaszának 32 cm/km-es átlagos esésével, abszolút hihető értéknek tűnik. Számításaink számszaki bemutatását nem éreztük szükségesnek.

A medercsúsztató feszültségeket a hozamok függvényében ábrázolva (19. ábra) leolvashatjuk a mederkitöltő vízhozamhoz tartozó csúsztatófeszültség-értéket, hiszen – mivel tau a vízállás függvénye – a mederkitöltő hozamnál kell megtörjön az értékpárokra illesztett függvény menete. A már ismert mederkitöltő vízhozamhoz (87 m³/s) tartozó tau-érték tehát hozzávetőlegesen 16 N/m².

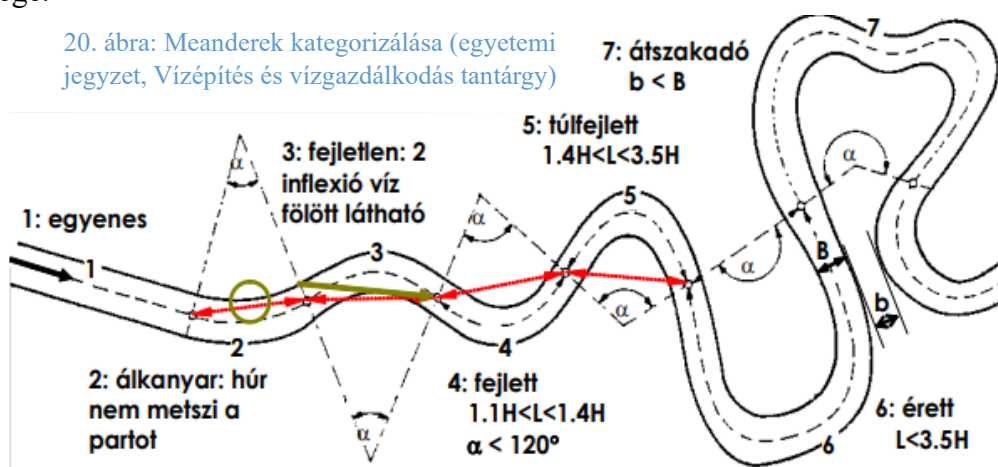


19. ábra: Q- τ -függvény

- A vizsgált kanyarulat bemutatása

A mintaterületül választott Ipoly-kanyarulat Hont községtől néhány kilométerre északra található. A 20. ábra kategorizálását összevetve az egyik helyszíni méréskor készített drónkamerás felvétellel (21. ábra) megállapíthatjuk, hogy meanderünk nem csupán túlfejlett kanyarulat, hanem érett is, hiszen a középvonalon mért inflexiós pontok közötti távolság (L) 174,3 méter, ami több mint 3,5-szöröse a húrhossznak (H), ami hozzávetőlegesen 28,9 méter. Ne okozzon zavart a 20. ábra apró hibája, az érett kanyarulatnál a relációjel az ábrán szereplővel ellentétesen értendő. Kanyarulatunk azonban még az átszakadó kategóriába is éppen belesik, hiszen a drónfelvételen jelöltek alapján a mederszélesség kissé nagyobb, mint a meandernyak szélessége.

20. ábra: Meanderek kategorizálása (egyetemi jegyzet, Vízépítés és vízgazdálkodás tantárgy)



21. ábra: A terepi mérés során készített drónkamerás felvétel (2023 augusztus), AutoCAD-ben szerkesztett távolságokkal

- A vizsgált meander történelmi fejlődése

Megkíséreltük feltárni a vizsgált meander történelmi fejlődését is. A legkorábbi és viszonylag megbízható térkép, amit érdemesnek tartottunk felhasználni, a "kalapos király" rendelte első



22. ábra: Magyarország első katonai felmérése, 1782-85, részlet

(<https://maps.arcanum.com/hu/map/firstsurvey-hungary/?layers=147&bbox=2109884.0307177054%2C6113459.00>)

katonai felmérés (1782-85). Hont környékét megkeresve látható, hogy meanderünk ekkor már létezett, és fejlődése kezdeti stádiumban volt (22. ábra). Ezen a térképen és a továbbiakon is piros kör jelöli a vizsgált kanyarulat elhelyezkedését. Ha be akarnánk sorolni meanderünket a 20. ábra kategóriái közé, vagy az álkanyar, vagy a fejletlen cím illene rá.

A 19. század közepe táján készült második katonai felmérésen már jóval fejlettebb állapotban van meanderünk (23. ábra). Ugyanez az állapot látható kissé jobb minőségben és pontosságban a 24. ábrán, ami a korábban a 19. századi kisebb volumenű Ipoly-beavatkozásoknál már említett Beszédes József kérésére készült, és valamelyik szabályozási javaslatát tartalmazó 1843-as vízrajzi térkép részlete. Ekkorra már vizsgált kanyarulatunk a fejlett vagy akár a túlfejlett kategóriába is besorolható.

A boldog békeidőkben készült harmadik katonai felmérés során a 25. ábrán szereplő részlet alapján még a korábbiaknál is kevésbé törekedtek a vízrajz minőségi ábrázolására. Annyit azonban óvatosan megállapíthatunk, hogy a 19. század végére bizonyosan túlfejlett volt kanyarulatunk.



23. ábra: Magyarország második katonai felmérése, 1819-69, részlet

(<https://maps.arcanum.com/hu/map/secondsurvey-hungary/?layers=5&bbox=2113829.9485728447%2C6116520.571729309%2C2120628.0667759576%2C6119348.74177586>)



25. ábra: Magyarország harmadik katonai felmérése, 1869-87, részlet

(<https://maps.arcanum.com/hu/map/thirdsurvey75000/?layers=43&bbox=2107922.8763345205%2C6114255.220302463%2C2121519.1127407462%2C6119911.560395565>)

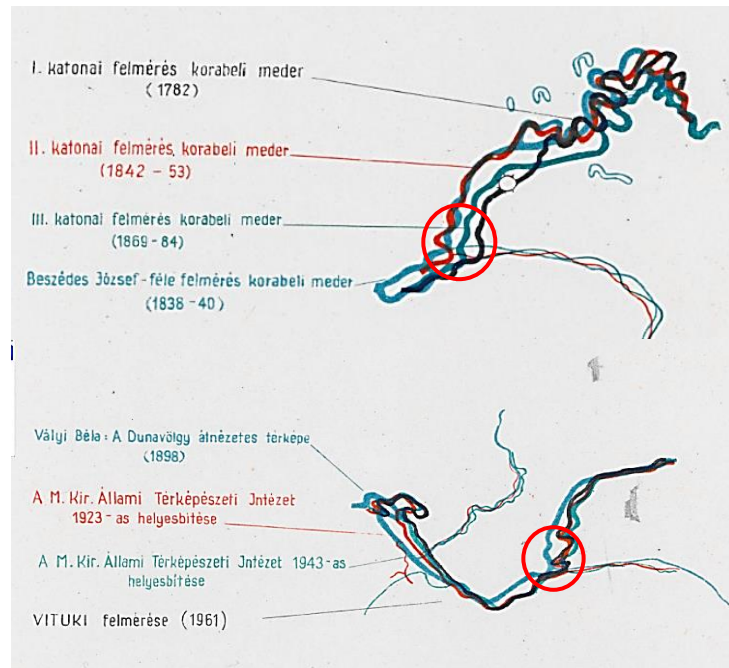


24. ábra: Beszédes József rendelkezésére készült Ipoly vízrajzi térkép részlete, 1843, részlet

(<https://maps.hungaricana.hu/hu/MOLTerkepar/7400/view/?bbox=-762%2C-10561%2C26636%2C2814>)

További térképeken nem láttuk szükségesnek követni meanderünk fejlődését, hiszen kétségtelenül a huszadik században kellett 'megérjen' az érett kategóriába, ha méréseink idején az átszakadóba sorolhattuk.

A Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet behatóan foglalkozott az Ipollyal a hatvanas években, még a medervándorlásáról is készítettek



26. ábra: Az Ipoly medervándorlása a 18. sz. végétől a 19. sz. végéig (fent), illetve a 19. sz. végétől a 20. sz. második feléig (Ipoly, Szob-Balassagyarmat közötti szakasz, VITUKI, 1967)

egy ábrát, eltérő színekkel és magyarázattal jelölve a korszakokat,

melyekre ábrázolták a folyó helyszínrajzát (26. ábra). Egy durva becslést ez alapján is tehetünk a meanderünk fejlődésének ütemére. Ez a térkép emlékeztet a bevezetésben szereplő Fisk-térképre (4. ábra) a Mississipp medervándorlásáról, természetesen elmarad attól mind volumen, mind minőség és mind esztétika tekintetében.

Összegezve a kanyarulatunk fejlődési ütemét reprezentáló térképeket, ábrákat, és feltételezve, hogy vizsgálatunk idejétől számítva néhány éven belül megtörténik a kanyarulatlefűződés, hozzávetőlegesen 250 év telik el egy Ipoly-kanyarulat kialakulásától annak természetes lefűződéséig. Ezt összevetve a bevezetésben említett adattal, miszerint ez a folyamat a Duna sárközi szakaszán úgy 150 év, és tekintetbe vesszük a két folyó munkavégző képessége közötti nyilvánvaló különbséget, nagyon is hihetőnek tűnik a megállapításunk.

A vizsgálat során alkalmazott módszertanok

- Terepi mérések

Célkitűzésünknek megfelelően a jómagamból, két szintén TDK-dolgozatot készítő diáktársamból és két oktatónkból álló kis csapatunk kétszer ment terepi mérésre. Először 2023 június 26-án, majd két hónappal később, szeptember 1-én. Reményeink szerint két mérésünk között egy jelentősebb árhullámnak kellett volna levonulnia, hogy méréseinket összevetve kimutathassunk a part- vagy medergeometriában valamilyen változást, ezzel is következtetve

az Ipoly munkavégző képességére és a kanyarulatfejlődés ütemére. Várakozásaink csak részben teljesültek, mert jött ugyan egy árhullám a két mérésünk között eltelt időszakban, de az a legkevésbé sem nevezhető mederformáló árhullámnak, hiszen $16 \text{ m}^3/\text{s}$ -körül tetőzött (7. ábra), ez pedig jelentősen alatta van a korábbiakban megállapított $87 \text{ m}^3/\text{s}$ -os mederképző vízhozamtól.



27. ábra: Vízállás idősor az ipolytölgyesi vízmércén, méréseink időpontjainak jelölésével

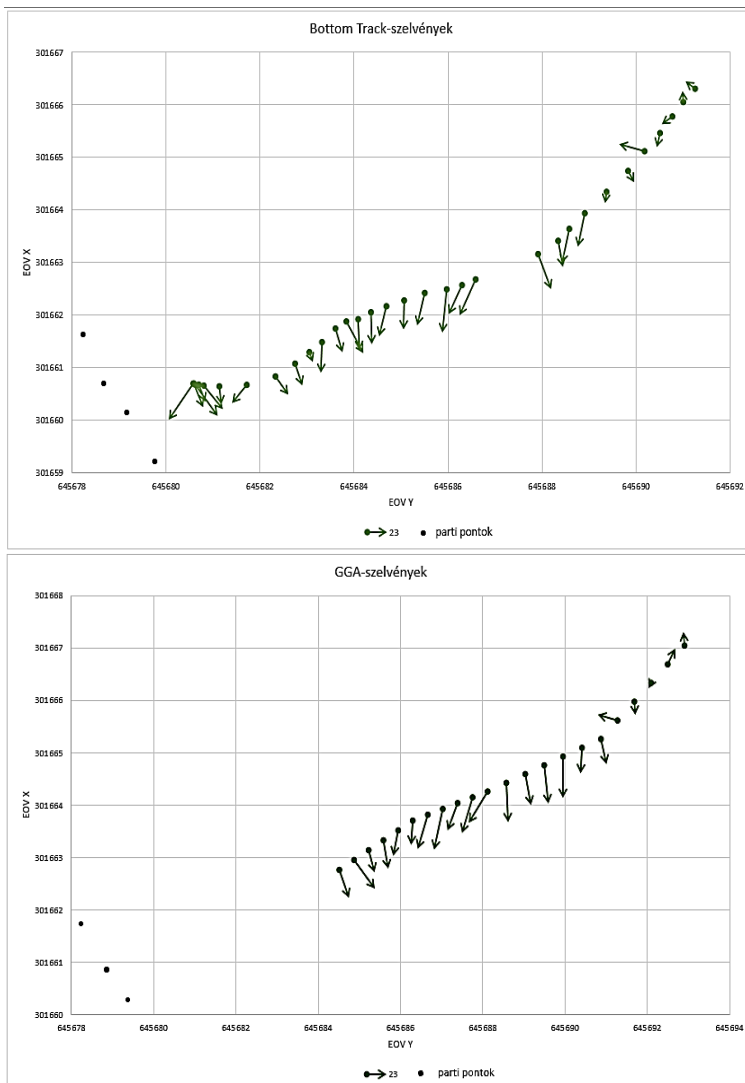
Legfőbb mérőeszközünk az ADCP (Acoustic Doppler current profiler) volt, amely nevéből eredően a Doppler-effektus elvén működik. Indirekt módon számítja ki a víz sebességét kibocsátott hanghullámok segítségével, melyek egy része visszaverődik a vízben lebegő különféle részecskékről, például lebegtetett hordalékról vagy buborékról. Tekintve, hogy mindig jelentős mennyiségű ilyen részecske van a vizekben, közel folyamatos jelérzékelésre számíthatunk. A műszer a kibocsátott és visszaérkező jelek frekvenciakülönbségét méri, hiszen a frekvenciakülönbség a vízsebességgel arányos kell legyen, az alábbi összefüggés alapján:

$$f_{visszavert} = 2 \cdot \frac{c_{v\acute{z}}}{c_{hang}} \cdot f_{kibocs\acute{a}tott} \text{ (Fleit, 2013).}$$

Ahol „ $f_{visszavert}$ ” a Doppler-eltolódás miatt megváltozott frekvencia a vevőnél, „ $f_{kibocs\acute{a}tott}$ ” a kibocsátott hang frekvenciája, „ $c_{v\acute{z}}$ ” a relatív vízsebesség a készülék és a részecskék között, „ c_{hang} ” a hang terjedési sebessége vízben. A kettes szorzó azt fejezi ki, hogy a vevő és a kibocsátó ugyanaz (a műszer), vagyis a hangnak oda-vissza kell megtennie az utat. Mivel a hang terjedése vízben közel állandó, a műszer által szolgáltatott adatok nem szorulnak pontosításra.

A méréseinket megelőzően az ADCP beállításainál $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ -es cellaméretet állítottunk be, ekkora területen átlagolta a vízsebességeket a műszer, az ADCP Bottom Track funkcióját is használtuk, ennek segítségével a műszer a hajó elmozdulásait tudja mérni, így csupán a mérés kezdeti pontját kell GPS-szel meghatározni, hiszen a Bottom Track segítségével a mérés feldolgozásakor kirajzolható a hajó útját, vagyis azt a szelvényt, ahol mérést végeztünk. Az ADCP másik lehetséges funkcióját, amely folyamatosan GPS-szel határozza meg a helyzetét (GGA) összevetettük a Bottom Track-kel, és megállapíthattuk (28. ábra), hogy a GGA esetében összenyomott mérési keresztaszelvényeket kapunk, a GPS kisebb elmozdulásokat érzékel a valóságnál. Látható a mellékelt ábrán (amely egy találmásra kiválasztott mérési szelvényünk volt, a 23-as), hogy igen valószínűtlen, hogy csónakunk olyan távol végezte vagy kezdte volna el a mérést a parttól, mint ahogy a GGA-funkcióval mért adatokból kirajzolódott.

Másik fontos eszközünk az RTK-GPS volt, mellyel a partok geometriáját mértük fel, ez



28. ábra: A Bottom Track és a GGA funkciók összehasonlítása a 23-as mérési szelvény példáján

azonban az agresszív növényzet miatt sokszor nem szolgáltatott kellően pontos koordinátákat, ezért második mérésünk alkalmával már egy fejlettebb TOPCON-GPS-t vittünk, amely két részből áll, egy bázis és egy rover egységből, a bázist egy nyílt fix pontra kell helyezni, a roverrel pedig folytathatók mérések, miközben a bázis folyamatosan kommunikál és korrekciókat ad a rovernek.

Hagyományos mederanyagmintavételezéssel gyűjtöttünk mintákat a mederből. Az eszköz csónakból a vízbe vetésével egyidőben állóhajós mérést indítottunk az ADCP-vel, és a mérések kezdőpontját tekintettük a mintavétel helyének,

így az erre a pontra kapott mélységátlagolt sebesség (U) és mélység (H) értékével végeztük későbbi számításainkat.

A lebegtetett hordalék-mintavevőt is használtuk, eredményt azonban nem tudtunk vele kimutatni, mert bár sok időt állt a vízben, csupán elhanyagolható mennyiségű lebegtetett hordalékot gyűjtött össze.

A partfalból (29. ábra) egy ásó segítségével gyűjtöttünk mintát.

Az áramlási viszonyok felmérésére kötéllal jelöltünk ki mérési szelvényeket, lehetőség szerint úgy 5-10 méterre egymástól a sodorvonalra merőlegesen.



29. ábra: A meandersúcsnál a szakadó partfal



30. ábra: A meandersúctól fotózott ADCP-s mérés



31. ábra: Háttérben egy mérési szelvényben ADCP-mérés, előtérben (jómagam) parti pontmérés RTK-val.

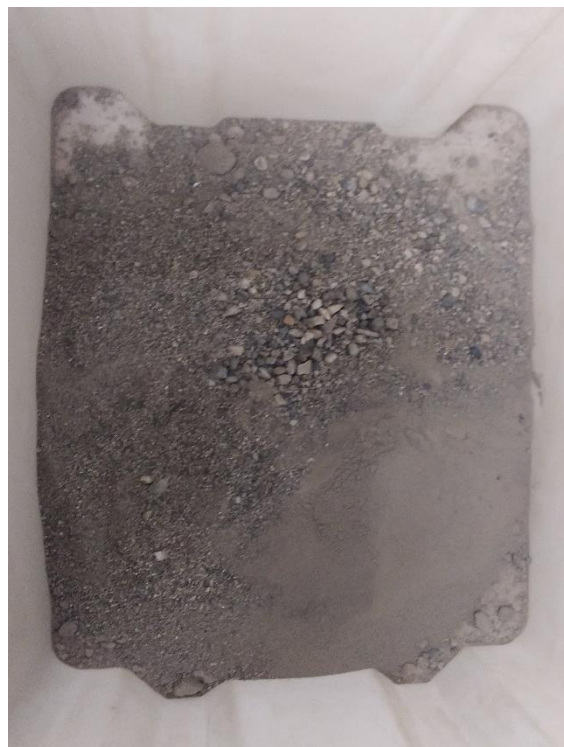
A kötél pedig egyik parttól a másikig húztuk a hajót (30-31. ábra), miközben a ráerősített ADCP a fent leírt módon mérte a függélymenti cellák középsebességeit.

- Laboratóriumi mérések

Összesen 44 db mederanyagmintát gyűjtöttünk (a partfalból vett mintákkal együtt), melyek szitálást a Vízépítés és Vízgazdálkodás Tanszék laboratóriumában végeztük hagyományos szitafrakciókon (a tálcát nem számítva a legkisebb frakció lyukbőssége 0,125 mm, a legnagyobb 32 mm volt). Látható a két lenti fotón, hogy egyes összetételű mintákat is sikerült venni, melyek kavics, illetve homok-tartalma vetekszik egymással.



32. ábra: A 222-es számú minta szitálásra előkészítve



33. ábra: A 014-es számú minta a szitálást követően

- Adatfeldolgozási módszerek

Az ADCP-leírásakor összevetettük a Bottom Track és a GGA funkciót, az akkori megállapításaink alapján az előbbi funkciót használva a mért elmozdulás-értékeket excel-táblázatban hozzáadva a kezdőpont GPS-szel meghatározott koordinátájához, kirajzoltattuk a hajó útját. A kirajzolódó szelvény pontjaihoz pedig hozzárendeltük ugyancsak excelben a mélységátlagolt függélymenti középsebességeket. A kétdimenziós ábrázoláshoz a függélymenti középsebességvektorok az ideálisak, nem a hosszmentiek.

A mederanyagminták szitálásakor jegyzőkönyvben rögzítésre kerültek az egyes frakciókon fennmaradt anyagmennyiségek, majd excel-táblázat segítségével frakciónkénti összes áthullottra számítottuk őket át, végül kiszámítottuk annak a nem valós szitának a lyukbőségét, melyen az anyagmennyiség 50 százaléka (D50), illetve 90 százaléka (D90) fennmaradt. A minták homoktartalmait is megjelenítettük, ami a 2 mm-es szitafrakción összesen áthullott anyagmennyiség százalékos aránya.

Egyik legfőbb célunk a medercsúsztatófeszültségek számítása volt a mintavételek helyén. A számításainkhoz felhasznált összefüggéseket M. Garcia *Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling and Practice* című könyvének második fejezetéből vettük. A feljebb ismertett D90-et tekintettük mértékadónak a medercsúsztatófeszültségek (τ) számításakor, így a számítások megkezdéséhez szükséges k_s -tényezőt a D90-ből származtattuk. Két k_s -tényezőt is felvettünk, az egyiket a D90 3,5-szöröseként, másikat annak 0,84-szereseként. Így tehát két tau-t kaptunk, melyeket összevetve látható, mennyire érzékeny a k_s -re végeredményünk. Az alábbi képlet segítségével a mintavétel helyén a függélymenti átlagsebesség (U) és a nyírási sebesség (shear velocity (u^*)) hányadosát számíthatjuk ki:

$$\frac{U}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{H}{k_s}\right) + 6 = \frac{1}{\kappa} \ln\left(11 \frac{H}{k_s}\right)$$

Ahol kappa a Kármán-állandó (értéke 0,41), H pedig a minta helyén a medermélység. Mivel az U-t az ADCP-vel végzett állóhajós mérés megadta számunkra, az u^* egyszerűen számítható.

Következő számítandó paraméter a frakciós együttható volt (C_f), melyet az alábbi képlettel számítottunk, melyben már minden paraméter ismert:

$$C_f = \left[\frac{1}{\kappa} \ln\left(11 \frac{H}{k_s}\right) \right]^{-2}$$

Most már számítható a medercsúsztatófeszültség (τ_b): $\tau_b = \rho C_f U^2$

Hogy lássuk mennyire jelentős a medermozgás, a kritikus medercsúztató feszültségeket is ki akartuk fejezni, majd összevetni τ_b -vel. Előbb még egy paraméter számítása volt szükséges:

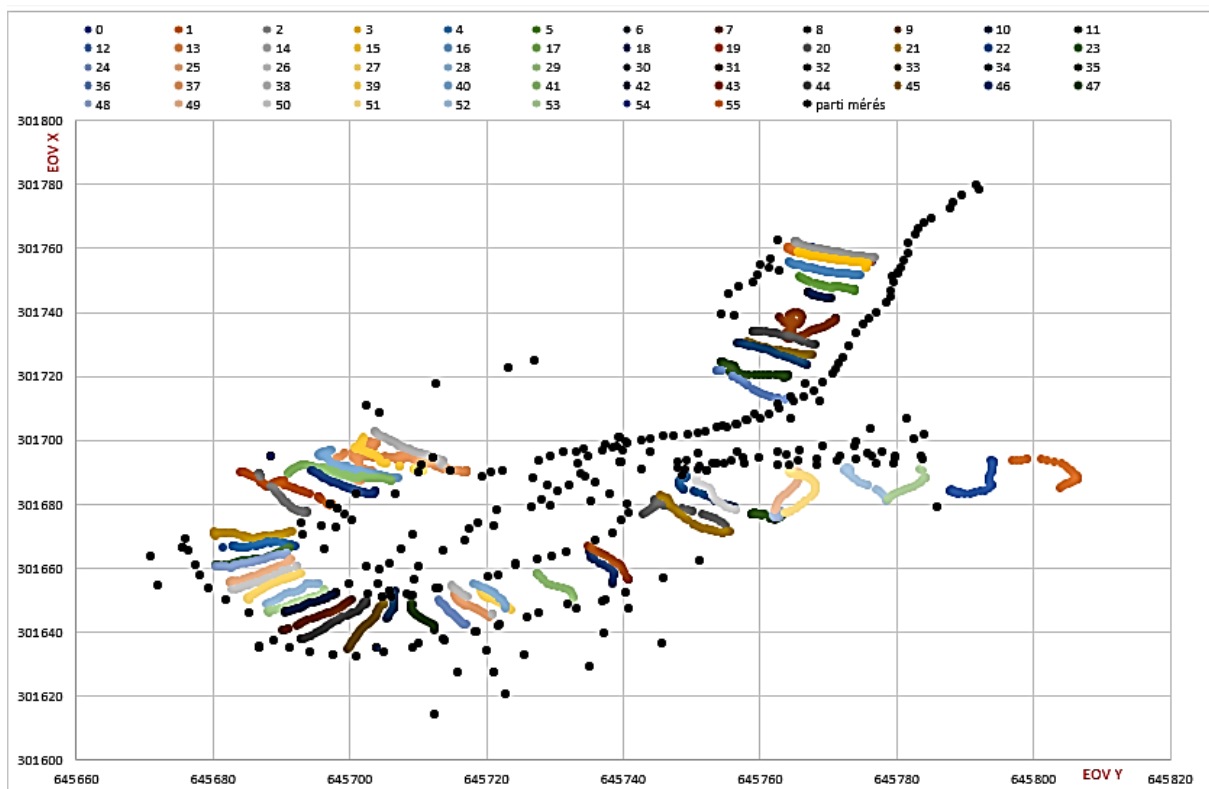
$$R_{ep} = \frac{\sqrt{gRD} D}{v}$$

Ahol D-t egyszer D50-nel, egyszer D90-nel tettük egyenlővé, v pedig a víz viszkozitása (értéke $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$). A kritikus medercsúztató feszültség összefüggése:

$$\tau_c^* = \frac{1}{2} \left[0.22 R_{ep}^{-0.6} + 0.06 \exp(-17.77 R_{ep}^{-0.6}) \right]$$

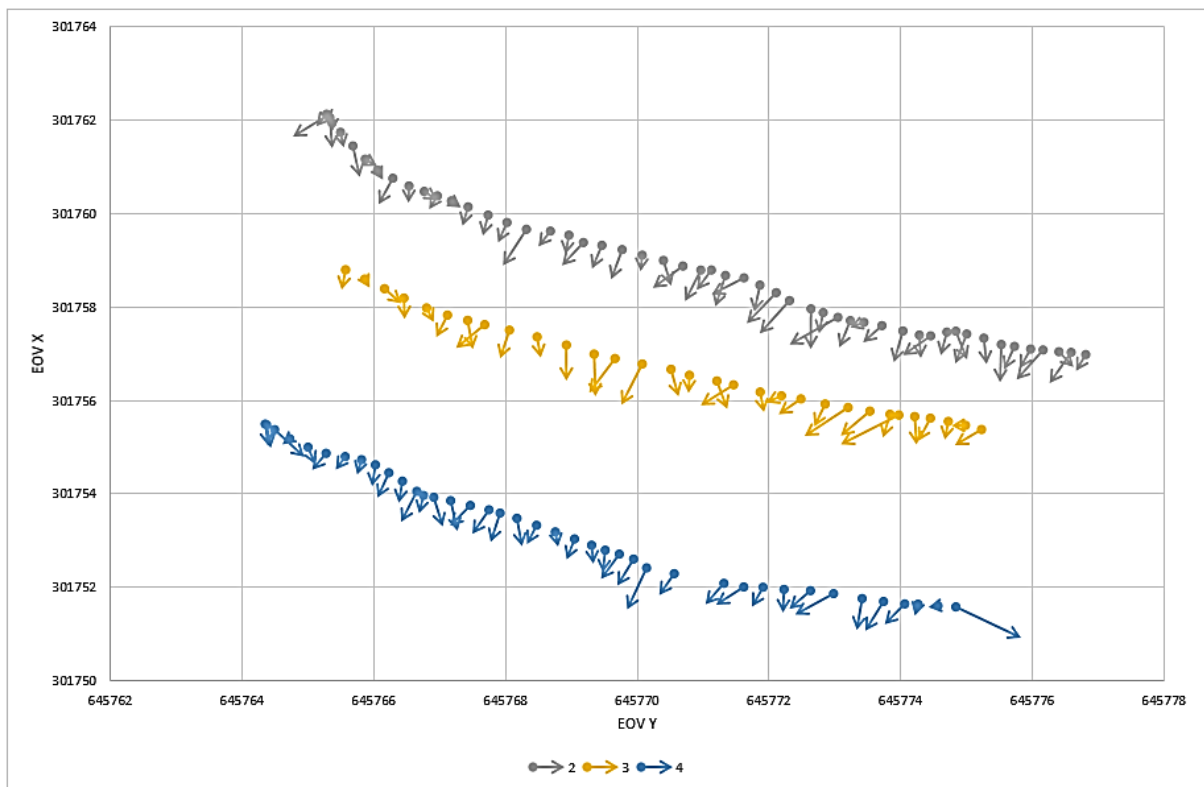
Eredmények

A Bottom Track funkció segítségével és az RTK-, illetve TOPCON-GPS adataiból megszerkeszthettük a hajónk útját a mérési szelvényekben, illetve a partél és a szórt szárazföldi pontokat (34. ábra).



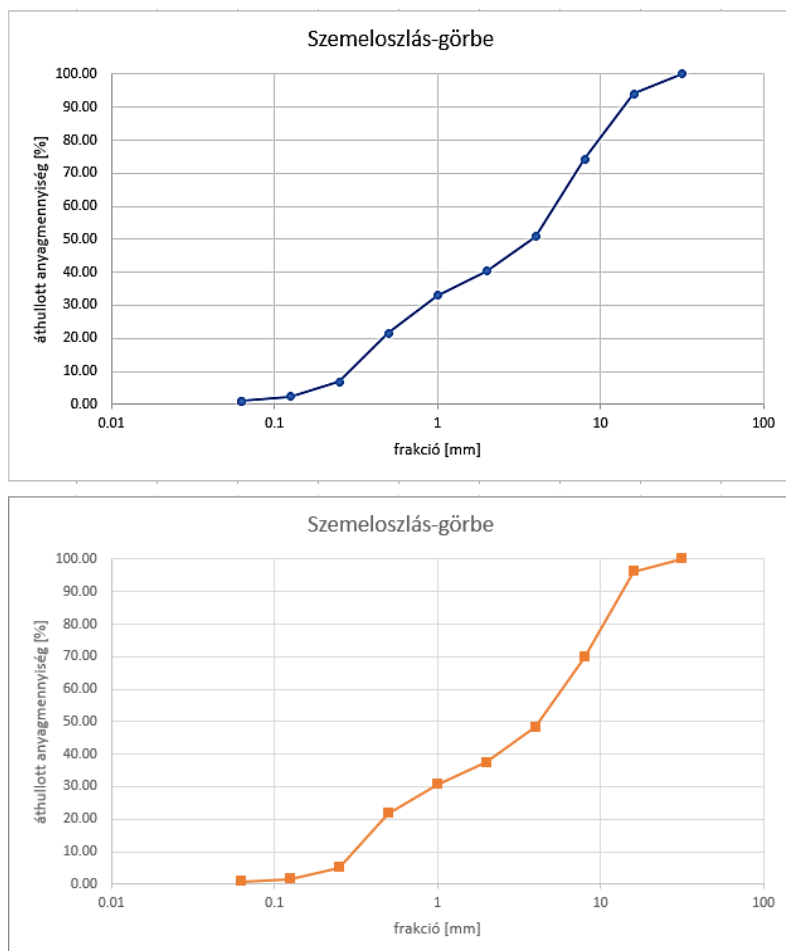
34. ábra: A mérési szelvények és a felmért parti pontok

Megszerkesztettük a mérési szelvényekben a függélymenti sebességvektorokat is, melyeket azonban nem jelenítünk meg mind az 55 mérési szelvényre, csak néhányra (35. ábra):



35. ábra: A 2-es, 3-mas és 4-es szelvények mélységátlagolt sebességvektorai

A 44 mederanyagminta szemeloszlásgörbéit sem célunk mind ábrázolni, csak ízelítésképpen néhányat:



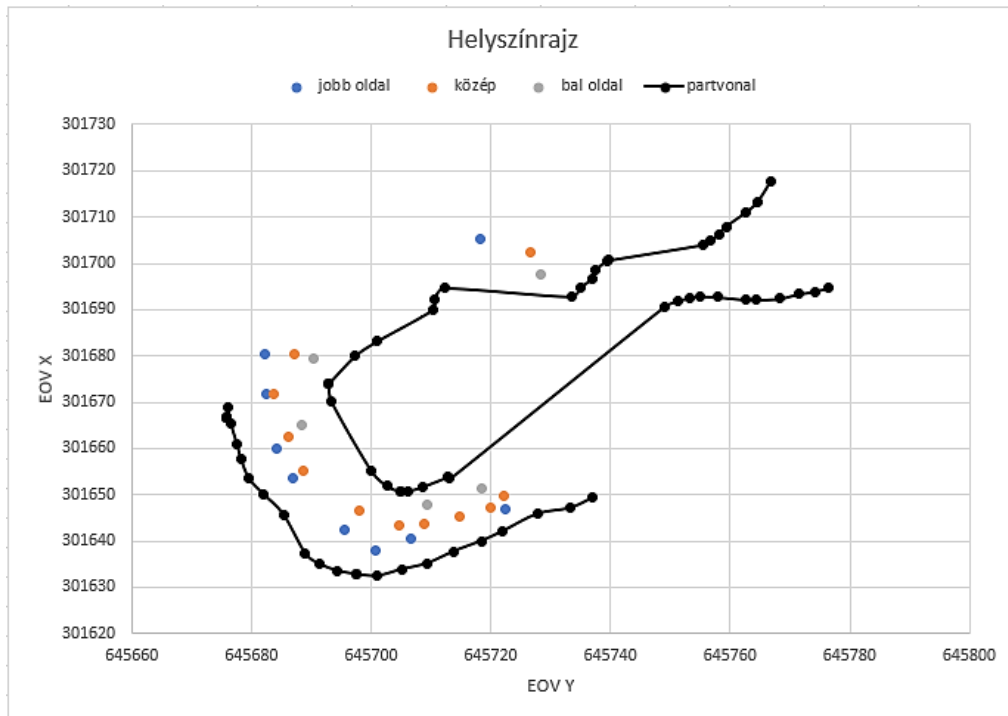
36. ábra: A 223-as (fent) és a 013-as számú (lent) minták szemelgörgői

A mederanyagminták vételének helyeiről AutoCAD-ben készítettünk egy ábrát egy a mintaterületet tartalmazó EOV-raszter fedvényen, a minták helyeit a folyásirány szerinti elhelyezkedés szerint számoztuk be. Csak 25-ig kellett elmenjünk a számozással, mert a 44 mintából csupán ennyire adott az ADCP U és H értékeket.



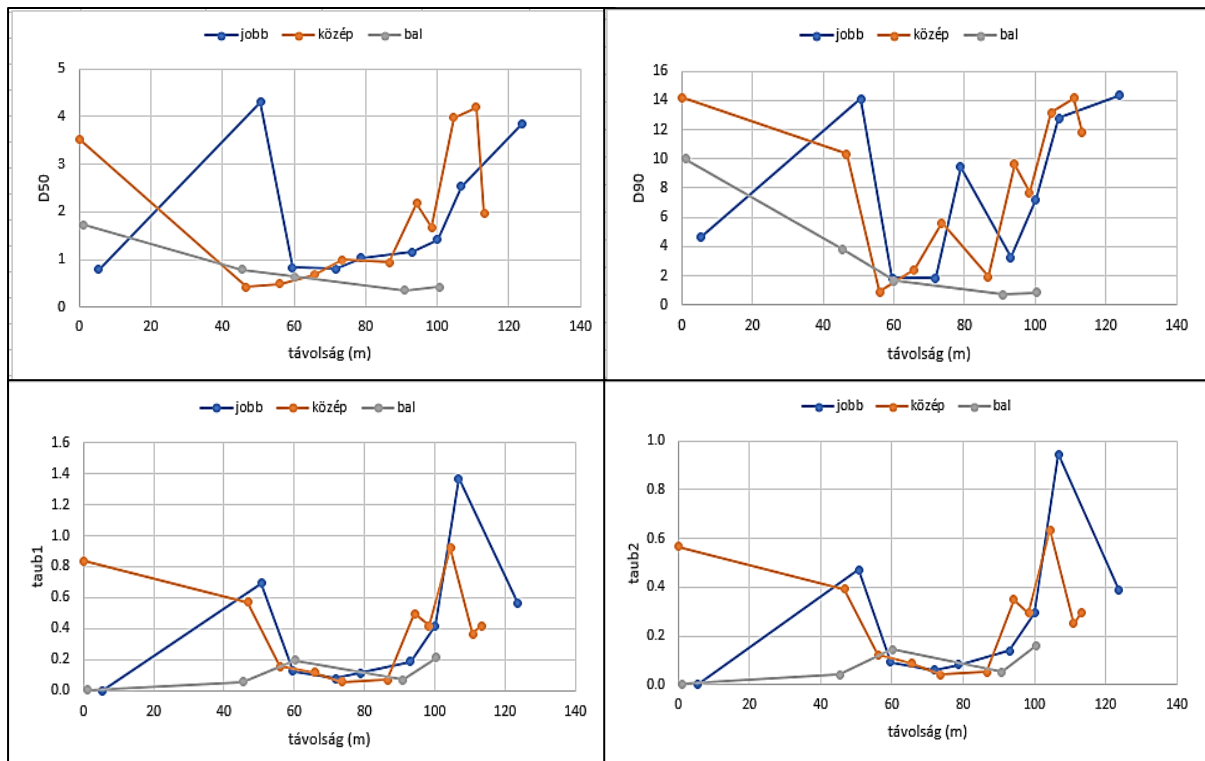
37. ábra: A mederanyagminták vételének helyei (AutoCAD-ben szerkesztve)

Ugyanez talán áttekinthetőbb excelben, persze a CAD-es ábra alapján ellenőrizni tudtuk, helyes-e a pozícióink:



38. ábra: Excelben készített helyszínrajz a mederanyagmintavétel pozícióiról

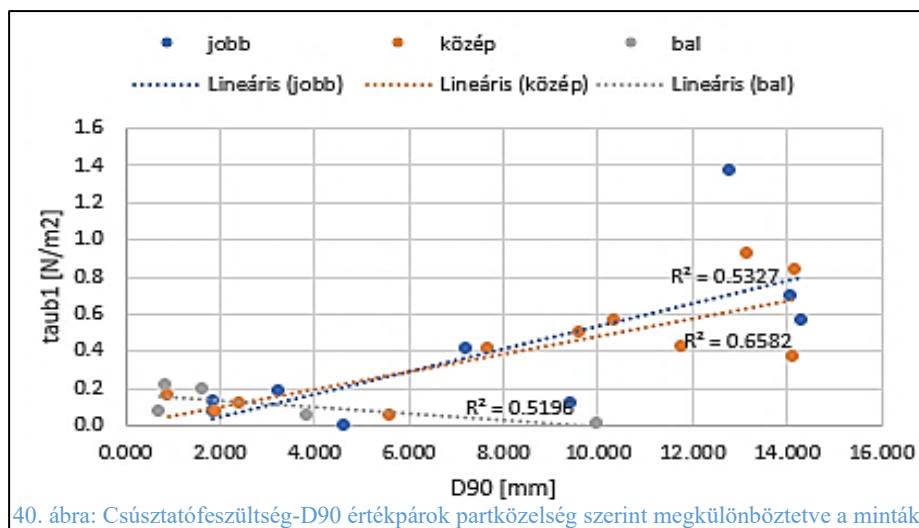
Az előző ábra szerint háromfelé csoportosítottuk a mederanyagmintákat a partokhoz viszonyított helyzetük alapján. A továbbiakban korrelációt kerestünk a számított paraméterek között. Megszerkesztettük a D50, D90, τ_{b1} és τ_{b2} hossz-szelvényét:



39. ábra: D50, D90, τ_{b1} és τ_{b2} hossz-szelvényei a partközelség iránya szerint

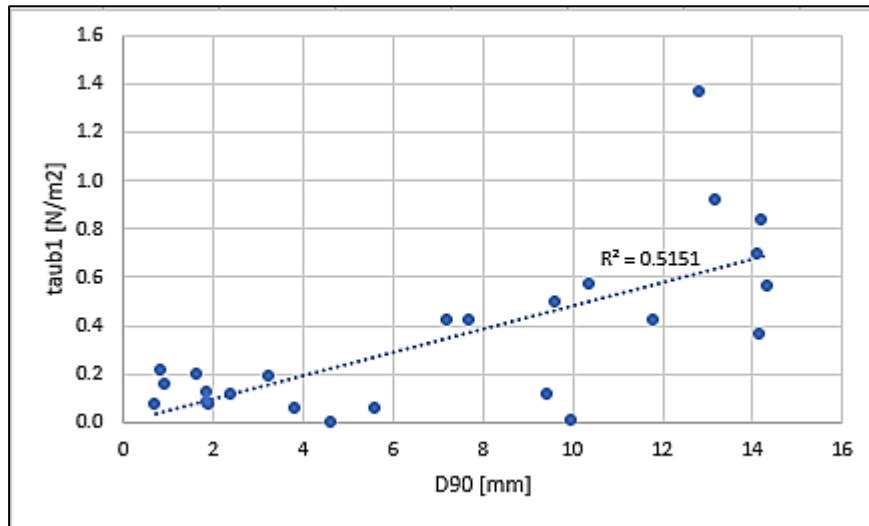
Az ábrákról egyértelműen leolvasható, hogy a sodorvonal melyik parthoz helyezkedik el közelebb. Várakozásainknak megfelelően a kanyarulat csúcsánál (80 méteres távolságra nagyjából az első mintavételektől) a jobb parthoz közelebbi rész veszi át a dominanciát mind a mederanyag szemcsemérete, mind a csúsztatófeszültség tekintetében.

Erős korrelációt lehet felfedezni a D90 és a medercsúsztatófeszültségek között:



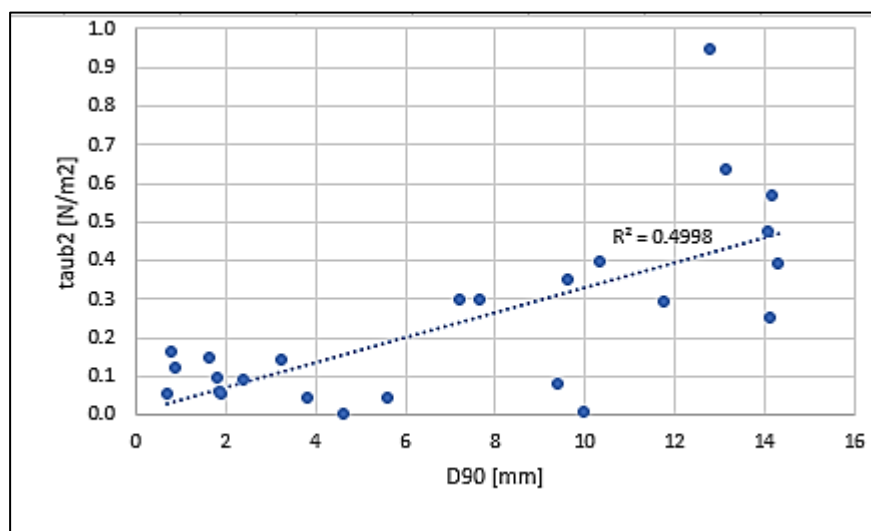
40. ábra: Csúsztatófeszültség-D90 értékpárok partközelség szerint megkülönböztetve a minták

Megállapíthatjuk, hogy nagyobb csúsztatófeszültséghez nagyobb D90-érték tartozik. A kivétel, ami erősíti a szabályt, a bal parthoz közelebbi pontok, ennek oka egyrészt a meandernyak tájon egy balparti kavicspad, amely épphogy csak víz alatt volt méréseink idején, illetve a meandercsúcs épülő (folyásirány szerint tehát bal oldali) része szintén alig volt a méréseinkkor tapasztalt kisvízi vízszint alatt. Ezen a két helyen tehát kicsi a vízsebesség, következésképpen a tau is kicsi, míg a D90-érték lehet viszonylag nagy is. Az alábbi (41-es) ábrán nem különböztettük meg a mederanyagmintákat, így is látható az erős korreláció:



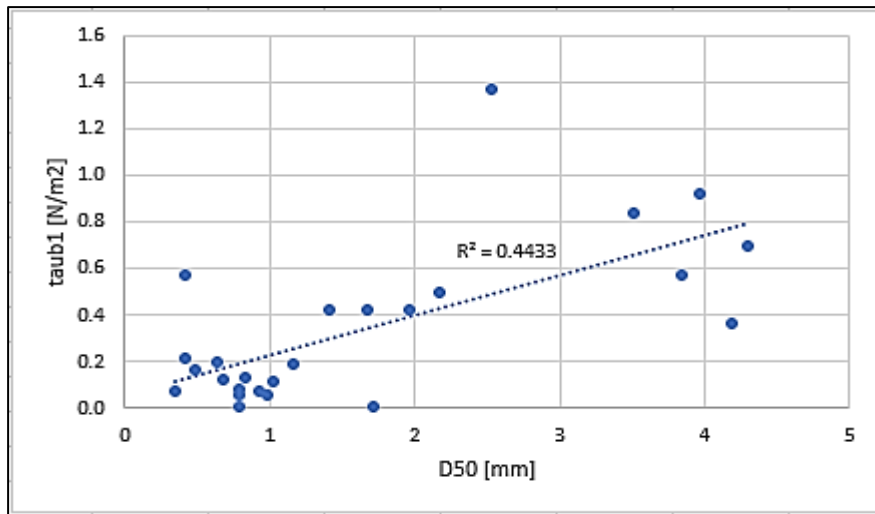
41. ábra: τ_{b1} -D90 értékpárok mintamegkülönböztetés nélkül

Hasonlóképpen a D90-függvényében ábrázolhatjuk a τ_{b2} -értékeket is, melyeket a korábban említett k_{s2} -paraméterekkel számítottunk, ami egy nagyságrenddel kisebb volt, mint k_{s1} . Ez a nagyságrendi különbség a végeredményeken nem látszódik:



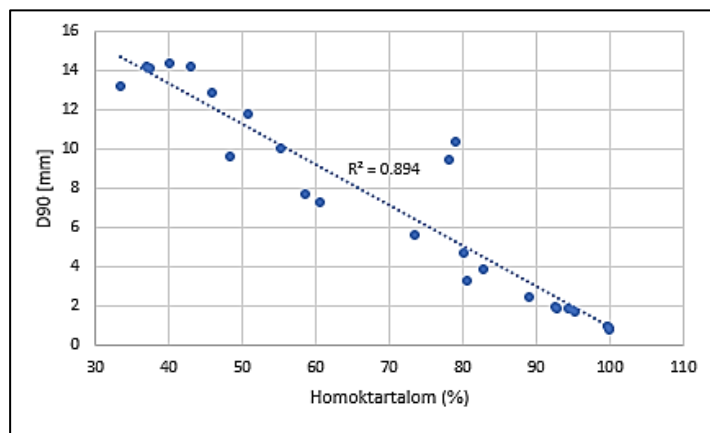
42. ábra: τ_{b2} -D90 értékpárok mintamegkülönböztetés nélkül

A csúszatófeszültségeket (τ_{b1}) nem csak D90, hanem D50 függvényében is ábrázolhatjuk (43. ábra). Összevetve a 41-es ábra grafikonjával, megállapíthatjuk, hogy a D90-értékek kissé jobban korrelálnak a D50-értékeknel a csúszatófeszültséggel.

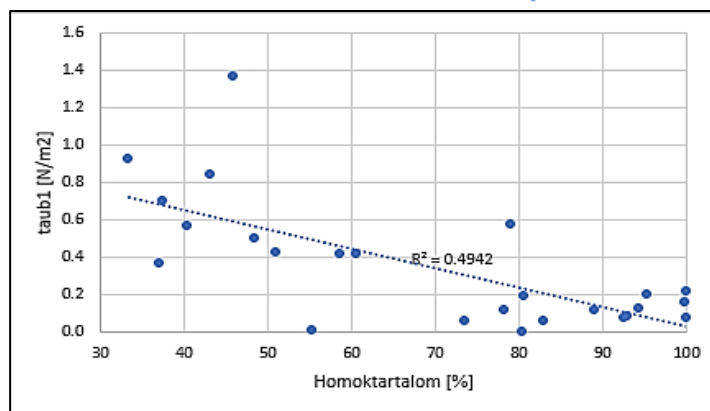


43. ábra: τ_{b1} -D50-értékpárok

A mederanyagmintáink számított homoktartalmainak függvényében is megvizsgáltuk a D90 és a csúszatófeszültség értékeket. Természetesnek is mondható, hogy a homoktartalom és a D90-értékek között erőteljes kapcsolat áll fenn, mindössze két értékpár üt el számottevően a trendtől (44. ábra), valószínűleg a kavicspadról vagy annak közvetlen környezetéből származó mintáról

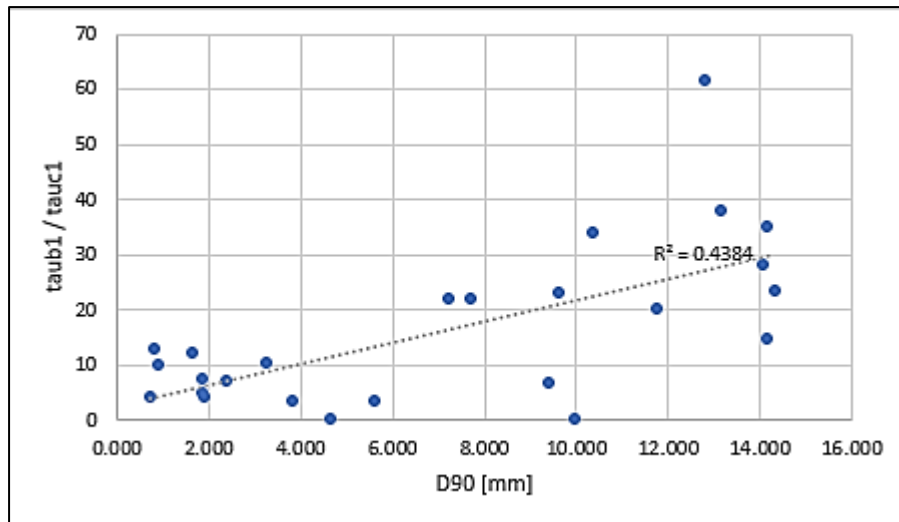


44. ábra: Homoktartalom-D90-értékpárok



45. ábra: Homoktartalom- τ_{b1} -értékpárok

van szó. A 45. ábra grafikonja alapján a homoktartalom és a csúsztatófeszültségek korrelációja közepesen erősnek mondható. Ahol kis homoktartalomhoz nagyobb csúsztatófeszültséget látunk, valószínűleg a sodorvonal környezetéből származó mintáról van szó.

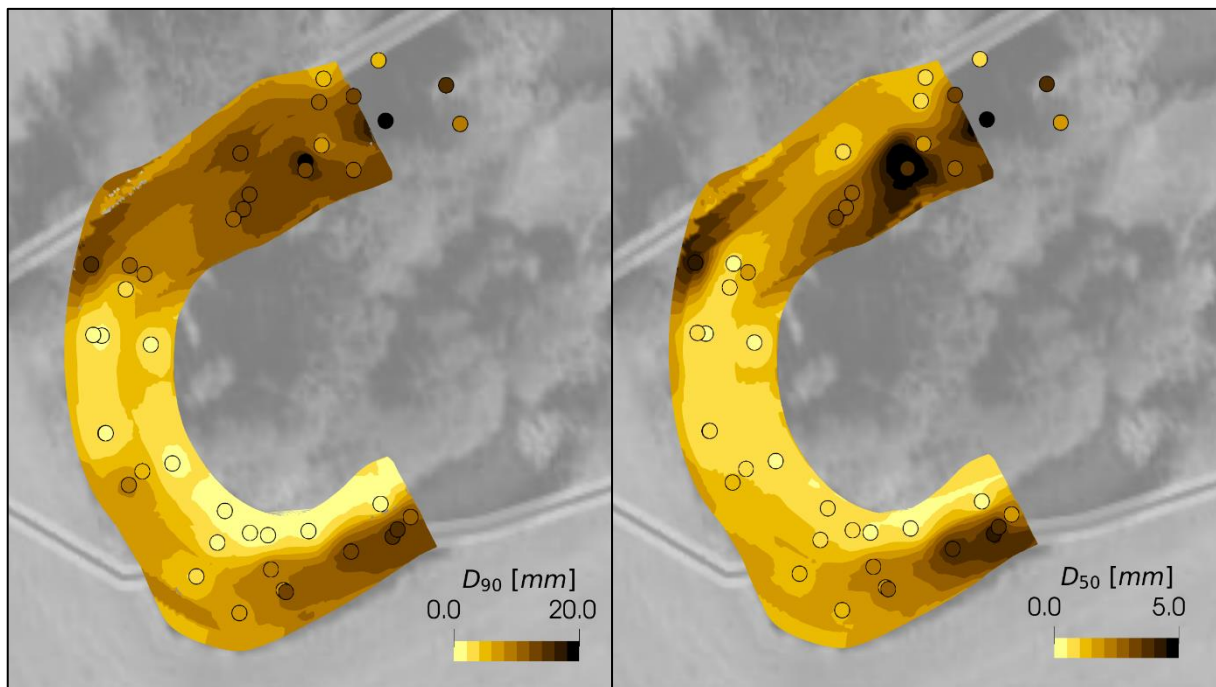
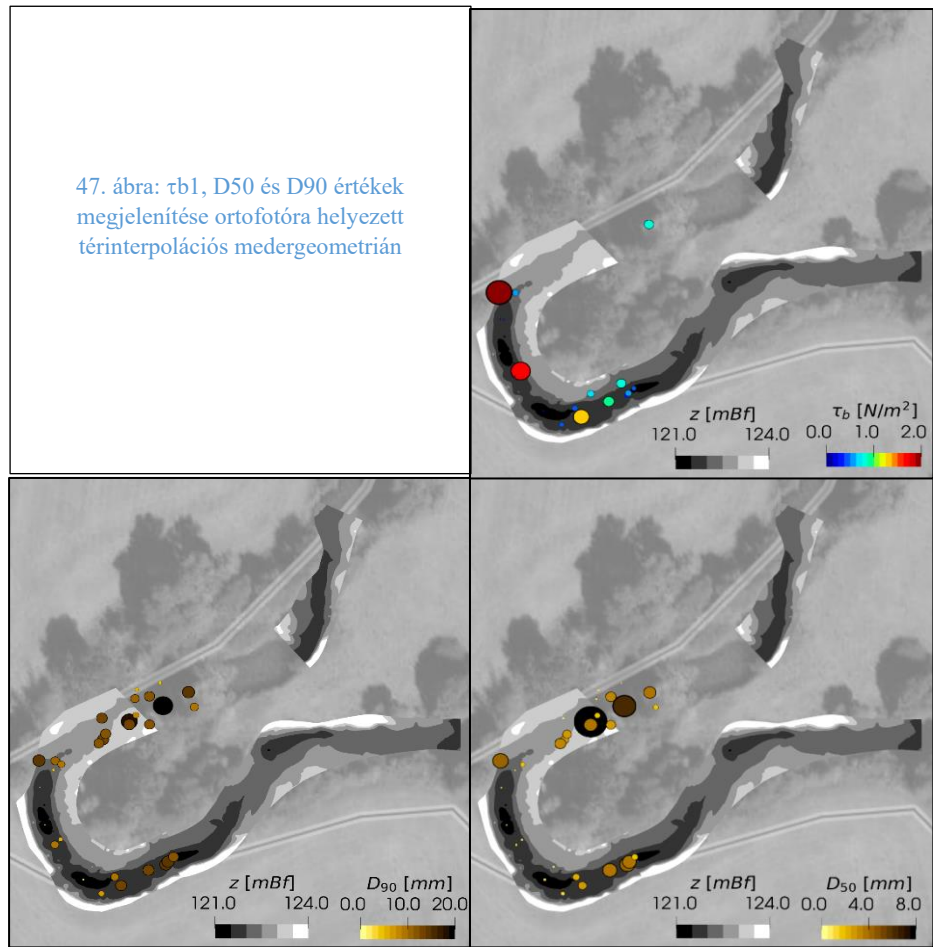


46. ábra: D90- τ_b/τ_c

Végül egy utolsó grafikonon a D90-értékeket ábrázoljuk a medercsúsztató feszültség és a kritikus medercsúsztató feszültség hányadosainak függvényében. Közepesen erős kapcsolatot állapíthatunk meg közöttük. Korlátozottan, de még kis víz esetén is igaz tehát, hogy ahol jobban mozog a meder, ott nagyobb méretű hordalékot szállít a folyó.

A következő oldal tetején a mederanyagminták elemzésekor számított három főbb paraméter, a D50, D90 és a medercsúsztató feszültség (τ_{b1}) értékeit jelenítjük meg a mintavétel helyén nagyságuk szerint változó méretű körszelettel és színkóddal, a háttérben egy EOY-helyes ortofotóval, illetve Gyürki Katalin évfolyamtársam jelenlegi TDK-dolgozata keretében térinterpolációs módszerrel készített medergeometriával. A szokatlanul nagyméretű kör a D90-es vagy D50-es ábrán megmutatja a kavicspad elhelyezkedését, míg a nagyobb medercsúsztatófeszültségek a sodorvonal elhelyezkedéséről adnak hozzávetőleges képet.

A lapján lévő két ábra szintén a térinterpolációs módszer alapján készült, itt azonban a bemenő adatok a 44 mederanyagmintára számított D50 és D90 értékek voltak, a számos mederanyagminta révén kísérletet tettünk tehát ezen paraméterek folytonos területi eloszlásának ábrázolására.



48. ábra: Kísérlet a vizsgált meanderen D90 és D50 folytonos területi ábrázolására

Összegzés, kitekintés

A TDK munkám során a Vízépítési és Vízgazdálkodási tanszék infrastruktúráját alkalmazva végeztünk el két terepi mérést az Ipoly Hont térségében található egy túlfejlett kanyarulatának morfordinamikai felmérése céljából. A mérések során precíz helyzetmeghatározásra alkalmas GPS eszközökkel mértük fel hallgatótársaimmal, illetve tanszéki kollégákkal a hullámtér pontjait, ADCP műszer segítségével álló- és mozgóhajós méréseket végeztünk a a vízmélység, illetve áramlási jellemzők feltérképezése céljából. Továbbá, zavart mederanyagmintákat vettünk, amiket laborban elemeztem a kanyarulat szemösszetételének térbeli eloszlásának megismeréséhez.

Az adatfeldolgozás során a különböző áramlási paraméterek (mélységátlagolt sebesség, fenékcsúsztatófeszültség, vízmélység) és a morfológiai adottságok (mederérdesség, jellemző szemcseméret a mederanyagban, kritikus csúsztatófeszültség és homoktartalom) között kerestem kapcsolatot. A vizsgálat során olyan törvényszerűségeket kerestem, amik segítenek a kanyarulatban kialakuló dinamikák és folyamatok feltérképezésében és megértésében, valamint távlati célként a kanyarulat-lefűződés dinamikájának feltárásában. A két mérés során alacsony vízjárási állapotok álltak fenn, és a közötte eltelt időben sem tapasztaltam jelentős mederátrendezésre alkalmas ár hullám levonulást. Ezt azért volt fontos szem előtt tartanom, mert a kialakuló medergeometria és morfológiai jellemzőket elsősorban a mederkitöltő, vagy mederformáló vízhozamok szabják meg, tehát erős kapcsolatot ilyen hidrológiai állapotban történő mérések esetén várhatunk. A becsléseim szerint, a mederkitöltő vízhozam kb $87 \text{ m}^3/\text{s}$ -os vízhozam mellett alakul ki, kb. 16 N/m^2 -es átlagos fenék-csúsztatófeszültség érték mellett. Ehhez képest, a mérések időpontjában $10 \text{ m}^3/\text{s}$ alatti vízhozam volt, és a maximális csúsztatófeszültség sem érte el a $2 \cdot 16 \text{ N/m}^2$ -t. Ettől függetlenül azt találtam, hogy erős korreláció mutatkozott a d_{90} -es jellemző szemcseméret értékek és a csúsztatófeszültség között, valamint kifejezetten erős kapcsolatot tapasztaltam a mederanyag homoktartalma és a d_{90} -es mederanyag jellemző szemcsemérete között. Ezek alapján jól lehatárolható a kanyarulat azon részei, ahol feltehetően épül meder, hiszen a magas homoktartalmat az alacsony csúsztatófeszültség okozta finom szemcsék lerakódása okozhatja, ami kisvízi állapot esetén mehet végbe. Sikertült továbbá a kanyarulat két partmenti sávja és a sodorvonalban kirajzolódó hosszmenti morfológiai jellemzők viselkedésének feltérképezése, ami során érdekességként kaptam azt a viselkedést, miszerint az ív közepén várható a legalacsonyabb csúsztatófeszültség és mederanyag. Ennek okát szeretném tovább vizsgálni, de feltételezésem szerint a mederszélesség alakulása szerepet játszhat ebben a viselkedésben.

Az irodalomkutatásra, illetve korabeli térképek feldolgozására, valamint a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság által rendelkezésemre bocsátott lebegtetett hordalékkoncentráció, hordalékhozam, jellemző szemcseméret, vízhozam- és vízállás idősorok feldolgozására is próbáltam nagy hangsúlyt fektetni. A fellelhető korábbi térképek alapján megbecsültem az Ipolyon a kanyarulatfejlődés hozzávetőleges ütemét. Nem találtam erős korrelációt a Vízügyi Igazgatóságtól kapott adatok között, de a várt trendek kirajzolódtak.

A megkezdett kutatás során sikerült olyan terepi mérési eljárást és a hozzá kapcsolódó adatfeldolgozási módszertanokat tesztelni, amik alkalmasak lehetnek a vizsgált kanyarulat morfodinamikai hatásvizsgálatára. Távlati fő célom a kanyarulatfejlődés, illetve lefűződés ütemének feltárása. Ehhez elengedhetetlen olyan terepi mérések kivitelezése is, amik nagyobb árhullámok kezdő és végső időpontjaira esnek, valamint közel mederkitöltő állapotban is célszerű lenne mérést végrehajtani.

További lehetséges tervem a kanyarulatfejlődés numerikus modell alkalmazásával történő vizsgálata. A modell paraméterezését, illetve a validáláshoz szükséges adatokat a bemutatott vizsgálataim jól előkészítik, de nagyvizes időszakokból származó mérési adatok ehhez a vizsgálati eljáráshoz is szükségesek lennének.

Bibliográfia

- Derek Richards, Kory Konsoer: Morphologic adjustments of actively evolving highly curved neck cutoffs, Special Issue Paper, 2019
- M. Garcia: “Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling and Practice”, American Society of Civil Engineers, 2008
- Fleit Gábor: Élőhely szempontú folyószabályozás megalapozása korszerű hidromorfológiai adatelemzéssel, Tudományos Diákköri Konferencia, 2013.
- Gregory, K. J., Walling, D. E.: Drainage basins: form and process. Edward Arnold Publ., London, 1973
- Ipoly, Szob-Balassagyarmat közötti szakasz, VITUKI, 1967
- Károlyi Zsigmond: A vízépítés, vízhasznosítás és vízgazdálkodás története Magyarországon, Tankönyvkiadó, Budapest, 1960
- Németh Endre: Hidrológia és hidrometria, Tankönyvkiadó, Budapest, 1959
- Schümm, S. A., Khan, H. R.: Experimental study of channel patterns. Geol. Soc. Am. Bull, 1972
- Somogyi S.: Meder- és ártérfejlődés a Duna sárközi szakaszán az 1782-1950 közötti térképfelvételek tükrében. Földrajzi Értesítő 23/1. 27-36., 1974
- Tímár G., Telbisz T.: A meanderező folyók mederváltozása és az alakváltozás sebessége, 2005
- Vízyűjtő-gazdálkodási terv, 1-8 Ipoly vízgyűjtő alegység, 2010

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Török Gergelynek, hogy végig támogatott, buzdított, segített a dolgozat készítésekor!

Köszönöm másik konzulensemnek, Fleit Gábornak is minden segítségét!

Hálás vagyok a kutatás támogatójának, az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Programjának (FFT NP FTA).

Végül szeretném megköszönni hallgatótársaimnak, Nyiri Emesének és Nagy Lászlónak, a terepi mérések során nyújtott segítségüket! Külön köszönöm Gyürky Katalinnak a sikeres együttműködést, aki TDK dolgozatában ugyancsak az Ipoly kanyarulatában végezte vizsgálatait (medertérkép szerkesztési eljárásokat tesztelt), emiatt kölcsönösen segítettük egymás munkáját.