

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
TERMÉSZET- ÉS KÖRNYEZETFÖLDRAJZ TANSZÉK

Keresztmetszeti paraméterek hosszútávú változása a Közép- és Alsó-Tiszán

OTDK DOLGOZAT

Készítette:
Németh Kristóf
Földrajz BSc hallgató

Témavezető:
Dr. Sipos György
Egyetemi docens

Szeged, 2025.

1.	Bevezetés.....	4
2.	Előzmények.....	5
2.1.	Folyószabályozások.....	5
2.1.1.	A szabályozási célú beavatkozások típusai.....	5
2.1.2.	A folyószabályozások háttere Magyarországon	6
2.2.	A Tisza felmérése és szabályozása.....	8
2.2.1.	A Tisza-mappáció.....	8
2.2.2.	A legfontosabb beavatkozások a Tisza szabályozása során.....	9
2.2.3.	A szabályozásokat követő felmérések	10
2.3.	A szabályozások következményei a Közép- és Alsó-Tiszán.....	10
2.3.1.	A meder szűkülése és bevágódása	11
2.3.2.	Keresztszelvény területe és alakja	11
2.3.3.	A hullámtér feltöltődése és az árvízszintek emelkedése	12
2.4.	A keresztszelvények legfontosabb morfológiai paraméterei	13
3.	Vizsgálati terület.....	15
3.1.	A Tisza hidrogeográfiai jellemzői.....	15
3.2.	Szabályozási munkálatok a vizsgált folyószakaszon	16
4.	Adatok, módszerek.....	18
4.1.	Szabályozás előtti hossz- és keresztszelvények.....	18
4.1.1.	Átváltás metrikus rendszerbe.....	20
4.2.	A szabályozások előtti szelvények helyének azonosítása	21
4.3.	A jelenlegi állapotot bemutató digitális domborzatmodell	22
4.4.	A szelvények felosztása szektorokra.....	23
4.5.	A mederparaméterek definiálása.....	24
4.6.	Szektoronkénti hosszrövidülés.....	25
4.7.	Hibabecslés	26
5.	Eredmények és következtetések.....	27

5.1.	Átlagos változások a morfológiai paraméterekben	27
5.1.1.	A keresztmetszeti paraméterek teljes szakaszra vonatkozó átlagos változása.....	27
5.1.2.	Az inflexiós és tetőponti szelvényekre vonatkozó átlagértékek	28
5.1.3.	A hossz-szelvény változása a teljes szakaszra vonatkozóan.....	29
5.1.4.	Következtetések.....	31
5.2.	A keresztmetszeti paraméterek változásának szektoronkénti vizsgálata.....	31
5.2.1.	Mederszélesség	31
5.2.2.	Átlagos és maximális mélység	32
5.2.3.	Szelvényterület	34
5.2.4.	Szélesség-mélység arány és hidraulikus sugár	35
5.2.5.	Következtetések.....	36
5.3.	A keresztmetszeti paraméterek változásának térbeli különbségét meghatározó tényezők.....	37
5.3.1.	Kapcsolat a hosszrövidüléssel	37
5.3.2.	Kapcsolat a kanyarulatfejlettséggel	38
5.3.3.	Kapcsolat a partbiztosítások hosszával.....	39
6.	Összegzés	41
	Hivatkozások jegyzéke.....	43

1. Bevezetés

A magyarországi folyókat jelentősen átalakították a XIX–XX. századi szabályozási munkálatok során. A beavatkozások hatására megváltoztak az esésviszonyok, a meder szélessége és mélysége, a szelvények területe és más keresztmetszeti paraméterei. Ezekkel a változásokkal több korábbi kutatás is foglalkozott, de főként a szabályozásokat követő mederfejlődést vizsgálták, mivel a szabályozások előtti, közel természetes állapottal történő összehasonlításokat több tényező is nehezítette. Közülük az egyik, hogy a szabályozások tervezése során felvett kereszt-szelvények térben nem esnek egybe a szabályozásokat követően kialakított VO-szelvényekkel. Emellett, míg a legtöbb kutatás rövidebb szakaszokat vett alapul, hosszabb Tisza-szakaszokra vonatkozóan kevés eredmény látott napvilágot, különösen az eredeti és mai állapot tekintetében.

Kutatásom legfontosabb célja a szabályozások előtti Tisza-mappáció kereszt-szelvényeiből származtatott paraméterek összehasonlítása a jelenleg jellemző keresztmetszeti paraméterekkel, így megállapítva, hogy az árvizek levonulása szempontjából legfontosabb morfológiai mutatók (kereszt-szelvények területe, hidraulikus sugara) mennyiben változott a természetes állapothoz képest. A két állapot közötti különbségek általános értékelésén túl célom volt, hogy a vizsgált 175 km-es folyószakaszon kijelöljem azokat az egységeket, ahol a legjelentősebb negatív irányú változások léptek fel. Mindemellett kísérletet tettem a változások nagyságát befolyásoló tényezők azonosítására is.

Munkámban az 1834–1845 között zajló Tisza-mappáció során felvett kereszt-szelvényekből származtatott mederkeresztmetszeti paramétereket hasonlítottam össze a 2017-ben szonár és LIDAR segítségével felmért folyómeder vonatkozó mutatóival. A szabályozások előtti mederszelvények megismerése azért fontos, mert az tükrözte leginkább a természetes állapotot, a munkálatok kiindulópontját. A vizsgálatok elvégzéséhez mintegy 350 egykori, illetve a lerövidült szakaszon a mappációhoz hasonló szelvénytűrés mellett kijelölt 230 jelenlegi szelvény összehasonlítását végeztem el. Az összevetés megkönnyítése érdekében az egykori meder futásirány-változásai alapján 12 szektort különítettem el a Szolnoktól a magyar–szerb határig húzódó szakaszon. A vizsgált paraméterek, így a szélesség, a mélység, a szelvényterület és a mederesés hosszútávú változásait szektoronként grafikonokon és térképeken ábrázoltam.

2. Előzmények

2.1. Folyószabályozások

2.1.1. A szabályozási célú beavatkozások típusai

A mezőgazdaság megjelenésével új szakasz köszöntött be a történelemben, elkezdődött az ember tájátalakító tevékenysége. A korai civilizációk mind folyóvölgyekben alakultak ki, és kulcsfontosságú volt számukra a folyók viselkedése, vízjárása. Ahogy fejlődött a technológia, az akkori ember öntözőrendszereket alakított ki a folyók mentén. Mindez azt bizonyítja, hogy a természetes vizek megzabolázására való törekvésünk eredete visszatekint civilizációnk hajnaláig.

A XIX. századi európai társadalmaknak több oka volt a folyók szabályozására. Elsősorban a növekvő népesség élelmezési igényeit szerették volna kielégíteni új termőterületek felszabadításával, másrészt meg akarták állítani a malária terjedését a mocsaras területek lecsapolásával, harmadrészt pedig az árvizeket is kezelni kívánták (Downs és Gregory 2004). Az egyik első nagy szabályozási munkát Franciaországban ment végbe 1817-ben, a Rajna elászi fonatos szakaszát terelték egy mederbe. Ezt követően a Rajna-szabályozás mérnöke, J. G. Tulla nézete nyert teret, miszerint „*egy folyónak sem kell egynél több meder*” (Petts 1989).

Ezt követően a XIX. század közepétől kezdve számos európai vízfolyáson kezdődtek nagyszabású munkálatok, így a Rajna további szakaszain (Petts 1989), a Pó folyón vagy éppen a Tiszán (Dunka et al. 1996).

A folyószabályozási módszereknek széles palettája ismert, Downs és Gregory (2004) többféle tevékenységet különböztettek meg:

- Mederkotrás és -tisztítás: a meder környezetének tisztán tartása történhet a part menti természetes és mesterséges törmelékek eltávolításával, illetve a meder anyagának kitermelésével. Kisebb vízfolyások esetében széles körben alkalmazzák az aljnövényzet (nád, sás, hínár) eltávolítását. Célja az érdesség csökkentése a könnyebb vízelvezetés elősegítésére.
- Szélesítés: a két part közti távolság növelésével megváltozik a folyó vízvezető kapacitása adott keresztmetszéken.

- Töltések létesítése: mesterséges védvonal a folyókkal párhuzamosan, a földművek építőanyaga általában a feltalaj. Az árvizeket a két töltés közé szorítják, hogy a víz ne öntse el a környező területeket.
- Mederrendezés: általánosságban a folyómeder futásának befolyásolása, leggyakoribb módjai a meander átvágások és a folyó vezérárokba történő terelése. A szabályozott szakasz megrövidül, következménye pedig az esés megnövekedése.
- Csatornázás: többletvíz elvezetése csatornák segítségével. Főleg az ártereken alkalmazzák nagy vízmennyiségek kivonására a mocsaras tájból.
- Partbiztosítások: a laterális erózióra érzékeny homorú íveken alkalmazzák, kőszórásokat raknak le a part védelmének érdekében. Másik módja a sarkantyúk telepítése merőlegesen a partvonallal. Ezek együtt jelentősen kihatnak a meder geometriájára, hiszen szűkíti a szélességet.

2.1.2. A folyószabályozások háttere Magyarországon

Az ország területén átfutó két legnagyobb folyó, a Duna és a Tisza, valamint azok mellékfolyói különböző adottságú területeken folynak keresztül, illetve eltérő jellegű vízgyűjtőkről erednek, így a szabályozásukra való törekvés is más-más motivációval fogalmazódott meg.

Az Alföldön nagy emberi erőforrásokat igényelt a folyók megzabolázása, hiszen az árterek mocsarasak voltak, a folyók pedig sokszor kiemelt helyzetben voltak. Nemcsak árvízvédekezési megfontolások álltak a folyószabályozások megkezdésének hátterében, hanem a gazdasági érdek is igen jelentős volt; azaz a gabona konjunktúra miatt előtérbe került a hajózási útvonalak létesítése, illetve új termőföldek biztosítása (Botár és Károlyi 1973). Hiába próbálkoztak korábban lokális beavatkozásokkal, az átmetszések több helyen az új meder feliszapolódásával végződött, újabb elöntéseket vonva maguk után (Dóka 1997). Az 1800-as évek első évtizedében a – már meglévő – gazdasági és politikai akarat mellé csatlakozott a kellő technológiai háttér is az ipari forradalom képében, így megkezdődhetett a Körösök szabályozása (Deák 1996).

Huszár Mátyásra bízta rá 1818-ban a Körösök (Sebes-, Fekete-, Fehér-Körös), a Berettyó és a Hortobágy szabályozási tervének kidolgozását, valamint a szabályozást megelőző felméréseket is (Bendefy 1958). Több geodétát foglalkoztatott a felmérés, köztük az ifjú Vásárhelyi Pált is, aki a későbbi Tisza-szabályozások főmérnöke lett.

Huszárék szerint a gyakran jelentkező árvizek oka az alföldi folyók alacsony esésének tudható be (Dóka1997), ebből kiindulva készítették el a szabályozási tervezetet. Elsősorban a folyók menti malomgátakat számoltatták fel (53-at), ezután elrendelték a kanyarulatok átvágását, medrek kitisztítását, a mellékágak betömését és a feliszapolódott torkolatok kotrását, majd végül védőgátak emelését a legnagyobb mért vízállás szintje fölé. Ennek eredményeként a Körös folyók összesített hossza 401 km-rel, a Berettyó pedig 178 km-rel rövidült meg (Somogyi 2000), a rövidülés mértéke az 1. táblázatban látható. A szabályozás 3 akkori vármegye területére terjedt ki: Arad, Békés és Bihar. A Körös-szabályozások teljesen átírták a táj arculatát, az újonnan alakuló és termelésbe vonható termőföldek képesek voltak ellátni élelemmel a rohamosan növekvő népességet (Dóka 1997).

1. táblázat: Néhány alföldi vízfolyás rövidülése (Somogyi 2000 alapján).

Folyó	Folyóhossz a szabályozások		Rövidülés (%)
	...előtt (km)	...után (km)	
Sebes-Körös	162	86	-46,9
Fehér-Körös	126	67	-46,8
Fekete-Körös	166	90	-45,8
Kettős-Körös	84	37	-55,9
Hármas-Körös	234	91	-61,1
Berettyó	269	91	-66,2
Körösök és Berettyó együtt	1041	462	-55,6
Duna	494	417	-15,6

A Duna szabályozását gróf Széchenyi István indítványozta, aki elsősorban az infrastruktúra fejlesztése céljából szerette volna megkezdeni a munkálatokat (Mészáros 1979). Ezenkívül az Alpokban elolvadó jég- és hómenyiség jelentős zöldrakat okozott általában tavasz folyamán, amit a növekedő mezőgazdasági termények sínylettek meg, nem beszélve a kemény teleken előforduló jegesákról sem (Károlyi 1973). Így megkezdődött a Duna felmérése 1823-ban, hatalmas mérőföldkövet jelentve a magyar vízgazdálkodás történetében. A mappáció a Vízi és Építészeti Főigazgatóság égisze alatt zajlott, vezető mérnöke először Huszár Mátyás volt, majd őt váltotta Vásárhelyi Pál 1828-tól (Bendefy 1958). Az új igazgató néhány hónap után kiadta 1829 októberében a szintezési utasítását, melyben leírta a szintezés módját, definiálta a fixpontokat, a műszereket és a módszereket, illetve az egységes kézikönyvek és törzskönyvek formai követelményeit is meghatározta (Bendefy 1958). 1831-ben elindult a lényegi munka, a Duna folyam szintezése (Ágoston 2001). A Vaskapu szintezése és körülményes szabályozása miatt

Vásárhelyi hajózási felügyelő lett 1835-ben, és továbbadta vezetői tisztségét Hieronymi Ottó Ferencnek. Ő kiadatta a harmadik szintezési utasítást, ismét átalakítva a munka menetét. A szintezés végül 1845-ben fejeződött be (Bendefy 1958). A keresztmetszetekből és a szintezésekből következtethetni tudtak a folyó viselkedésére, majd belefogtak a folyó szabályozásába. Magyarországon a felsőbb szakaszok szabályozása volt a prioritás, hogy elkerüljék az 1838-as jeges árvíz megismétlődését (Ihrig 1973). Ennek érdekében kanyarulatokat vágtak át, mellékágakat zártak el és több helyen sarkantyúztak, egészen az 1848-as forradalomig. Az osztrák–magyar kiegyezésig kevés tervezet valósult meg, de 1867-től új löketet kaptak a munkálatok.

A Duna-szintezéskor meghatározott magassági alaphálózat kiemelt fontosságú a további munkálatok szempontjából. Kiindulópontja az Ausztriában található Petronell volt, mert az osztrákok korábban ott hagytak fel a Duna szintezésével. Ebből kifolyólag a magyar szintezési rendszerben ez lett az I. számú alapkő, és felette definiálták a magassági alapsíkot is 10 bécsi láb hozzáadásával. A különböző mappációkban a magassági adatok felvétele ettől a felülettől való magasságkülönbségre utalnak. Az I. alapkő abszolút magassága Bendefy (1958) alapján a ma már nem használatos nadapi rendszerben 145,352 m.

2.2. A Tisza felmérése és szabályozása

2.2.1. A Tisza-mappáció

Az ingadozó vízszintek és az egyre sűrűbben jelentkező árvizek kiküszöbölésére új, rendszerezett és intézményesített folyószabályozásra volt szükség a Tisza mentén is (Megulesz 2010). Ennek érdekében 1834-ben megalakult a Helytartótanács 6602. számú rendelete által nevesített Királyi Tisza Térképészet (Bendefy 1958).

A szintezési munkálatok párhuzamosan folytak, több vízügyi mérnök vezetésével. A Királyi Tisza Térképészet igazgatója, így a felmérések irányítója Lányi Sámuel volt, maga a tervezés pedig Vásárhelyi Pál nevéhez köthető, aki a *Bevezetés a háromszögelés gyakorlatába* c. művében leírta a helymeghatározási módszereket és a szintezés alapjául szolgáló trigonometriai függvényeket. Az első néhány esztendőben csillagászati és háromszögelési helymeghatározást alkalmaztak, majd a második lépésként magát a szintezést végezték el (Deák 1996). A szintezési hálózat alappontjait a folyóhoz közeli stabil talapzatú objektumok, pl. templomok vagy intézmények falánál határozták meg, ezek az ún. Vásárhelyi-féle fixpontok (Sziberth 1898). Bendefy (1958) az eredeti törzskönyvek és levelezések megtekintése alapján úgy találta, hogy a

mért magassági értékek több alkalommal is a budapesti nádori vízmércéhez kerültek viszonyításra, amely a fent ismertetett petronelli rendszerben volt nyilvántartva, s az is tudvalevő, hogy a vízmérce 1823–1857 közti időszakban üzemelt (Kuzmann 1981). Ezekből következtethetünk arra, hogy a Tiszán felvett fixpontok is petronelli szint alatt értelmezendők, azaz ugyanaz mindkét mappáció magassági alapfelülete.

A szintezés módja az akkori viszonyok közt igen nagy megpróbáltatások közepette folyt: a partvonalig leszintezett fixpontokig –csónakon– leereszkedő mérnök levert egy cölöpöt partközelsben az aktuális vízszint pereméig, amire később rá tudták mérni a magasságot. A napról napra történő mérések közti vízszintkülönbséget ideiglenes vízmércéken mérték, és így az esést sikerült a rendszerben tartani. A tizenkét éven keresztül tartó Tisza-mappáció éves ciklusai szerint novemberig a terepen, majd télen a törzskönyveken és a térképeken dolgoztak a geodéták (Bendefy 1958).

A Tisza-mappáció összesen 1869 keresztshelvényből áll (Sziberth 1898), számozásuk Kárpátaljától kezdődik és a titeli torkolatnál ér véget. A shelvények 5 egységbe oszthatóak, határaikat a szintezés és a vízjárás körülményei szabták meg.

2.2.2. A legfontosabb beavatkozások a Tisza szabályozása során

A Tisza-szabályozás világviszonylatban is kiemelkedő antropogén tájatalakító tevékenység (Schweitzer 2001; Downs és Gregory 2004). A legnagyobb beavatkozások kétségkívül a kanyarulat-átvágások voltak, összesen 114 átmetszés történt (Somogyi 2000), vagyis ennyiszor kényszerítették a folyót új mederbe. Ennek eredményeképp az eredetileg 1419 folyamkilométert (fkm) 966 fkm-re rövidítették, ami összesen 32%-os rövidülést mutat az eredeti hosszhoz képest. A rövidülés hatására a folyó esése 3,8 cm-ről 6 cm-re emelkedett (Károlyi 1973). A mai magyarországi Tisza-szakasz hossza kb. 600 km, ennek két partján 1085 km-nyi védőgát húzódik (Schweitzer 2004).

A kisvízi szabályozás a XX. század során több lépcsőben ment végbe a hajózhatóság biztosítása végett (Sipos 2008), kotrásokat végeztek és partbiztosításokat létesítettek több mint 100 kilométeres szakaszon (ATIVIZIG 1982). A legtöbb esetben meggátolták a meanderek további fejlődését, lecsúszását (Ihrig 1973).

2.2.3. A szabályozásokat követő felmérések

Az első mappáció után a következő általános felmérésig a mederszabályozásokat követő időszakig kellett várni. A Tisza megújult nyomvonala miatt a régi Vásárhelyi-féle fixpontok irrelevánssá váltak, így a Vízirajzi Osztály új szelvényezési rendszert vezetett be. Az új fixpontok kialakításához a szintezést is előlről kellett kezdeni, eredményeként 296 I. rendű fixpont jött létre a folyó mentén (Sziberth 1898). Később ezektől szintezték át a Vízirajzi Osztály köveit, ami minden folyamkilométeren meghatározta a keresztshelvények felmérésének alapjait. Az első teljeskörű felmérés 1891-ben ment végbe, ezt 1906–1909-ben (Pésh-féle) és 1921–22-ben (Viczián-féle) követték további felmérések, melyek szintűgy bő információkat hagytak az utókor számára. A későbbiekben a II. világháború kivételével nagyjából 20 évente történt meg a meder részletes felmérése a VO-shelvényekhez kapcsolódóan: 1929, 1957, 1976, 1999 és 2001 (Fiala és Kiss 2005).

A fent említett, különböző időkből származó felvételezések keresztshelvény adatait több kutató is összevetette, de kevesen foglalkoztak az eredeti Tisza-mappáció shelvényeivel. Ez annak tudható be, hogy a régi és új shelvények helyzete között nem, vagy csak véletlenszerűen voltak megegyezések, illetve az átvágott kanyarulatok shelvényei irrelevánssá váltak. *A Tisza hajdan és most* (1898) IV. sz. kötetében nagy részletességű keresztshelvény-összehasonlítások és kimutatások szerepelnek, legfőképpen két tipikus vízszinthez viszonyítva: egyik a Vásárhelyi által rögzített 1842-es kisvízszint, másik pedig az ún. „partokkal színelő közepes vízszint” (Sziberth 1898), mely a két shelvény közötti átlagos partmagasság esésével van összhangban és a két part átlagos magasságát veszi számításba.

2.3. A szabályozások következményei a Közép- és Alsó-Tiszán

A szabályozások következményeit Kvassay vizsgálta 1902-ben, többek között a meder változásait és a folyók vízjárását elemezte. Néhány évvel később Fekete (1911) vette számításba az első mappáció eredményeit, hozzáadta a már meglévő 2 felméréshez a Fekete-félét is. Ő a Tisza közép-keresztshelvényeit hasonlította össze, az általa meghatározott shelvényeket a partok közepes magasságainak, valamint az átlagos legmélyebb pontoknak a felhasználásával számolta ki (Fekete 1911). Félegyházi 1929-ben a shelvények sorozatát kibővítette a Viczián-féle méréssel, szakaszonként vizsgálta a változásokat. Károlyi (1960) statisztikai módszereket alkalmazott az összefüggések megértésére, az ezredforduló óta pedig többen foglalkoztak a Tisza-meder

változásainak vizsgálatával (Schweitzer 2001, Kiss et al. 2001, Fiala és Kiss 2006, Bezdán 2011, Varga et al. 2018).

2.3.1. A meder szűkülése és bevágódása

Az átvágások új vezérárkaiban kezdetben leszűkült a Tisza szélessége, majd néhány év után szélesedés indult be az 1929-es mérésig (Ihrig 1973), a folyó nagy általánosságban elfogadta a vezérárkokat. Fiala és Kiss (2006) hosszabb távon, 1842 és 2006 közötti időszakban hasonlították össze az Alsó-Tisza mindszerinti szakaszán megfigyelhető szélességváltozásokat, eredményeik alapján 16%-kal szűkült a meder a vizsgált szakaszon. Megállapították, hogy a mederszűkülés kialakulásában nagy szerepet játszanak a partbiztosítások is, megakadályozzák a kanyarulatok természetes fejlődését. A partbiztosításokkal rögzítik a kanyarulatokat, és ennek következtében növekszik az áramlási sebesség, így az erózió lejjebb fejt ki hatását, mindemellett a belső íveken nem állt le az övzatonyok képződése (Kozák 2020).

Ma a mederszélesség az egész Tiszán nagy szélsőértékekkel bír: Szolnokon és Mindszentnél 95 m-rel veszi fel a legszűkebb értéket, míg az átlag az Alsó-Tiszán 120 m lett az eredeti 180 m-es közepes szélességhez képest (Lászlóffy 1982, Kozák 2020).

A kanyarulatátmetések hatására jelentősen nőtt a folyó esése és munkavégző képessége, ami általánosságban bevágódáshoz vezetett. Emellett fent említett partbiztosítások egyik közvetlen következményeként tovább fokozódott ez a folyamat. Az Alsó-Tiszán 1842–1909 között 1,4 m-es átlagmélység-növekedést határozott meg Fekete (1911). A Tisza bevágódását jól jelzi a kisvizek süllyedése, melyet Károlyi (1960) tanulmányozott. Megállapította, hogy a vezérárkok bevágódása volt a legjelentősebb, de a kevésbé szabályozott szakaszokon is mélyült a Tisza.

Kiss et al. (2008) VO szelvények összehasonlítása alapján megállapította, hogy az Alsó-Tiszán a maximális mélység akár 48%-kal is növekedhetett 1890 óta. Eltérő a helyzet azonban a különböző szakaszokon, így az inflexiós szelvényeknél 30%-os mélységnövekedést, míg tetőponti szelvényeknél 19%-os növekedés tapasztalható (Fiala és Kiss 2005.).

2.3.2. Keresztzelvény területe és alakja

Az imént felsorolt változásoknak megfelelően a keresztzelvények alakja is változott. Az első összevetést a Tisza hajdan és most c. kötetben figyelhetjük meg, ahol a „*partokkal színelő közepes vízszín*” alatti szelvény területeket hasonlították össze. Fekete (1911) számításai alapján a Szolnok-Csongrád szakaszon átlagosan 160 m²-es növekedés volt 1842–1906 között, Szegedig

pedig nem volt számottevő a szelvényterület változása. Fiala és Kiss (2004) ugyanakkor rámutattak, hogy a szelvények területe csökkenő tendenciát mutat a bevágódás ellenére, és helyenként akár 20%-os csökkenést is mértek az Alsó-Tiszán. Az alakváltozás szelvényenként eltérő, de általánosságban azt vonhatjuk le, hogy az eredetileg tálra hasonlító vagy U-alak egyre inkább a V-alakba alakult át vizsgálataik szerint, jelezve a bevágódást és a meder szűkülését (Fiala és Kiss 2004, Kozák 2020). Az árvízkezelés szempontjából ez hátrányos folyamat, mivel a meder vízvezetési képessége romlik.

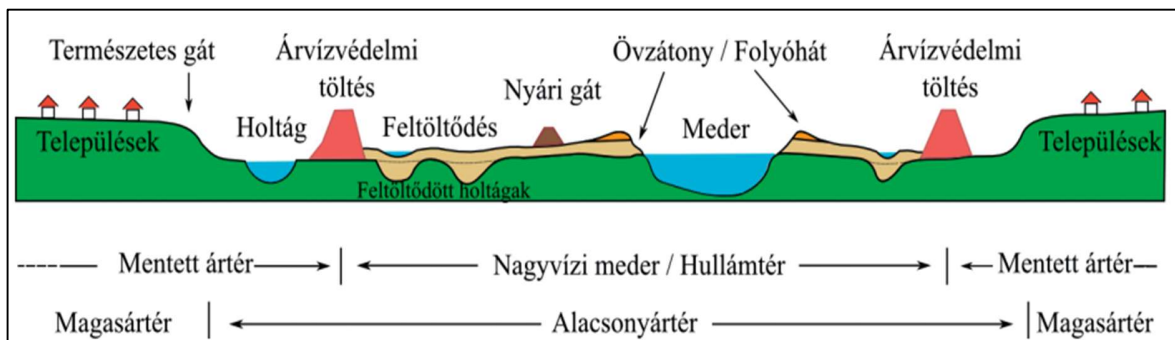
2.3.3. A hullámtér feltöltődése és az árvízszintek emelkedése

Az 1870-ig végbement szabályozási munkálatokra a Tisza nem úgy reagált, ahogy azt előrejelezték: habár a felső szakaszon gyorsan vonultak le az árhullámok, a Közép- és Alsó-Tiszán felgyülemlett a víz, és az árvízi vízszintek jelentősen emelkedtek. A legnagyobb pusztítást az 1879-es árvíz okozta, amely Szeged városát öntötte el, ennek következtében újra felülvizsgálták a szabályozásokat. Az árvízvédelmi töltések összes hossza 2410 km volt 1870-ben, majd ez a szám a következő szabályozási hullámmal 3134 km-nyi lett (Károlyi 1973).

Az árvízi szintek hosszú távú emelkedése szempontjából kiemelten fontos, hogy a gátak kiépítésével párhuzamosan megindult a hullámtér fokozott feliszapolódása, hiszen a folyó már csak ezen a szűk területen tudja lerakni árvízkor a hordalékát. Részben ennek köszönhető, hogy a védműveket több helyen és többször is magasítani kellett (Schweitzer 2004)

Az ilyen ismétlődő folyamatok hatására idővel a folyó nem az eredeti alacsony medrében tudott folyni, hanem a magasabb, feliszapolódott ártéren. Emiatt kellett időközönként megemelni a töltések koronáit (Schweitzer 2004).

A hullámtér feltöltődését jól jelzi a gátak mentett és mentetlen oldalán elhelyezkedő holtágak fejlődésének összevetése (1. ábra). A hullámtéri medermaradványok többnyire feltöltődtek az árvízi hordalékszállítás és üledékfelhalmozódás ismétlődésével, míg a mentett oldali víztestek feliszapolódása jelentősen kisebb mértékű (Varga et al. 2018). Korábbi kutatások alapján az Alsó-Tisza hullámterének feltöltődési üteme 0,8 cm/év (Nagy et al. 2018), azonban ez az érték szakaszonként igen eltérő lehet. A hullámtér feltöltődést ugyanis több tényező is befolyásolhatja, így a szállított hordalék mennyisége és szemcsemérete, a növényzet sűrűsége és a hullámtér érdessége, a hullámtér formakincse és akár a hullámtér szélessége is (Kiss et al. 2011).



1. ábra: A feltöltődő hullámtér (Schweitzer 2001)

A meder vízvezető-képességének térben különböző változásával, valamint a hullámtér vízvezető-képességének általános csökkenésével az árvízi vízállások szintje is növekedett. Az első árvízi vízállásmérés Szegeden történt 1772-ben, 630 cm-en tetőzött. Az azt követő 80 évben mindössze 0,7 m-t nőtt az árvizek szintje (Lászlóffy 1971). A szabályozások után ugyanakkor Szegednél és Csongrádnál az 1830–1895 közti időszakban csaknem 2,7 m-t emelkedett az árvízszint (Kvassay 1902). Ugyanezt az időintervallumot vizsgálva Szolnoknál 1,43 m-es volt az emelkedés, ami arra utal, hogy az alsóbb szakaszokon jelentősebben növekedett az árvízveszély. Az állami intézkedések arra irányultak, hogy különösen a veszélyes városok esetében körtöltések létesítése volt, hiszen a meglévő töltéseket túl költséges lett volna tovább fejleszteni. Habár legtöbb esetben hidrometeorológiai okok vezetnek az árhullámok kialakulásához, az LNV alacsonyabb vízhozamnál is növekedhet (Schweitzer 2001). Az árvízszintek növekedése a XX. században sem állt meg, Szegednél további 0,76 m-es emelkedés ment végbe (Nagy et al. 2017).

2.4. A keresztzelvények legfontosabb morfológiai paraméterei

A keresztzelvények szélesség és mélység adataiból több származtatott mutatót, geomorfológiai információt is ki lehet nyerni, ezek utalnak a folyó szakaszjellegére, a kanyarulat fejlettségére vagy a vízvezető képességére.

Munkámban a Tisza 1840-es évekbeli felméréséből meghatározott paramétereket fogom összehasonlítani a mai állapottal. Az összehasonlításokat a mederkitöltő vízszinthez igazodva végeztem el. A mederkitöltő vízszint alatt azt a vízszintet értjük, melynél a folyó kilép a medréből, azaz egy keresztzelvény esetében az alacsonyabb partél magasságát (Lóczy és Veress 2005). A

folyók keresztshelvényeit legjobban jellemző paraméterek Lóczy és Veress (2005) nyomán a következők:

- Szélesség (w): a két partél közötti vízszintes távolság, a középvonalra merőlegesen.
- Átlagos mélység (d): a meder átlagos mélysége mederkitöltő vízállás mellett.
- Keresztshelvény területe (A): a szélesség és az átlagos mélység szorzata, azaz $A=w*d$.
- Nedvesített terület (K): az a szakasz, amely mentén a víz érintkezik a folyómederrel, azaz egyszerűsített formában $K=w+2d$.
- Hidraulikus sugár (R): közelítő érték, a keresztshelvény területéből és a nedvesített területből származtatható ($R=A/K$). A shelvénny alakjáról ad információt: minél nagyobb az érték, annál nagyobb sebességgel halad át a víz az adott keresztshelvényen.
- w/d arány, vagyis a szélesség és a mélység hányadosa. A paraméter értékének növekedése a bevágódást jelzi, de következtethetni lehet belőle a shelvénnyalak torzulására is.

3. Vizsgálati terület

3.1. A Tisza hidrogeográfiai jellemzői

A Tisza vízgyűjtő területe 157 135 km², ebből a magyarországi részvízgyűjtő területe 45 010 km², a folyó esése a csaknem 600 km-es szakaszon összesen 30 m (KÖTIVIZIG 2014). A vizsgálat középpontjában mintegy 180 km-es (159–334. fkm) folyószakasz áll, az országhatártól a Szolnokig terjedő mederszakasztól gyűjtött adatokkal végeztem az összehasonlításokat. A vizsgált szakaszon torkollik bele a Zagyva, a Körös, illetve a Tisza legnagyobb mellékfolyója, a Maros; utóbbi vízgyűjtője egészen a Keleti-Kárpátokig húzódik, jelentős mennyiségű hordalékot szállítva onnan (Varga 2018).

A „szőke folyó” 12 000 000 t mennyiségű lebegtetett hordalékot szállít éves szinten a folyó szegedi szelvényében. Közepes vízzsárlása Szegednél 800 m³/s (KÖTIVIZIG 2014), ebben a mutatóban az országon belül csak a Duna múlja felül. A Tiszán jellemzően a március-áprilisi időszakban jelentkezik nagyvíz, amikor a Kárpátokban történő hóolvadás mellett jelentős mennyiségű csapadék is hullik a vízgyűjtőn.

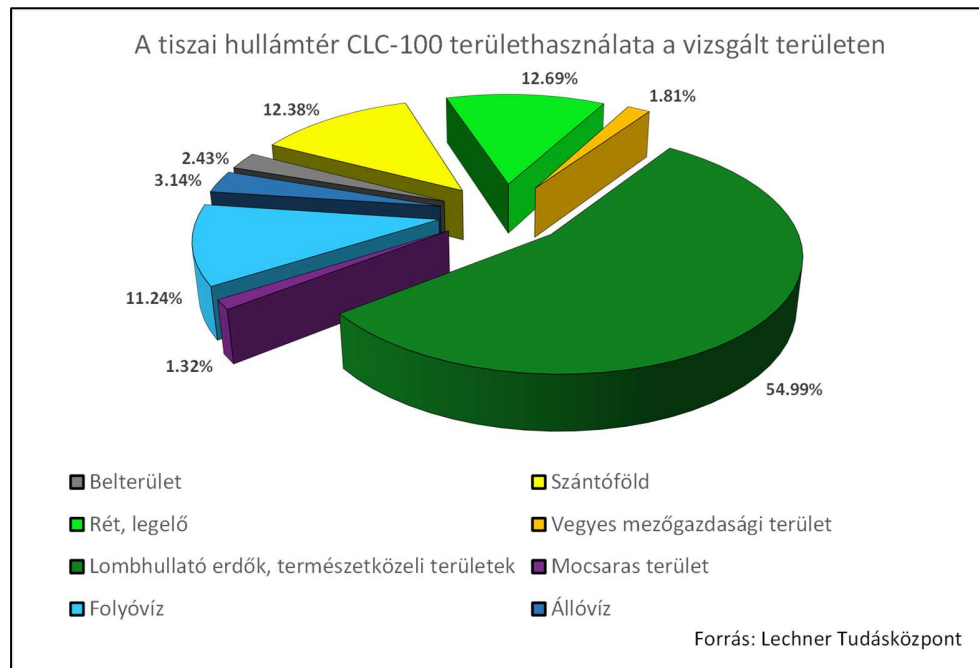
A Tisza vízjátéka általánosan növekvő trendet vett fel a szabályozások óta, az éves kisvizek csökkentek, míg az árvízszintek növekedtek (Fekete 1911). Az általam vizsgált szakaszon található 4 vízmérce szélsőértékeiről a 2. táblázat nyújt információt.

2. táblázat: A vizsgált területen található vízmércéken mért LKV és LNV értékek (vizugy.hu)

Vízmérce	Legkisebb vízállás (cm)	Időpont	Legnagyobb vízállás (cm)	Időpont
Szolnok	-291	2022.08.27.	1041	2000.4.19.
Csongrád	-357	1968.07.20.	1037	2006.4.22.
Mindszent	-293	1968.07.18.	1062	2006.4.22.
Szeged	-250	1946.10.10.	1009	2006.4.21.

Corine Land Cover (CLC) 100-as felbontású területhasználati adataiból kitűnik (ld. 2. ábra), hogy a vizsgált szakaszon a hullámtér legnagyobb részét (54,9%) fás vegetáció borítja. A növényzet szerepe azért fontos, mert a magas aránya csökkenti a hullámtér vízvezető képességét (Kiss et al. 2011). Az érdekesség azonban szezonálisan változik: nyáron a legnagyobb, télen pedig alacsony. A hullámtér több mint negyedén (26,88%) mezőgazdasági tevékenységet végeznek, ami szintúgy szezonálisan változó növényborítást jelent.

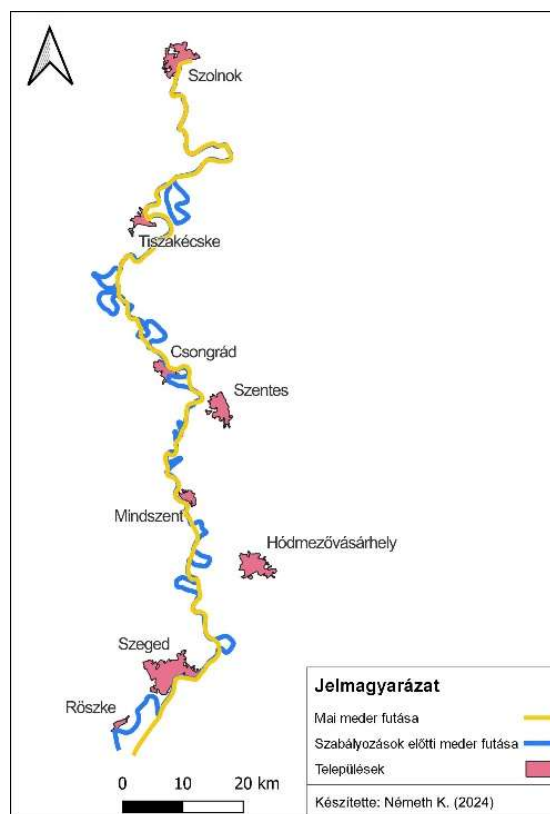
A területen főként a fluviális formakincs a legjellemzőbb, amely napjainkban is folyamatosan változik. A leggyakoribb formák az övzátonyok és övzátónysorok, folyóhátak, folyami szigetek (főleg kisvíz idején). Antropogén eredetű formák a folyószabályozásokból maradt holtágak (pl.: Mártélyi-holtág), kubikgödrök és a kisvízi szabályozások eredményeként létesített partbiztosítások.



2. ábra: A tiszai hullámtér területhasználata (Saját ábra)

3.2. Szabályozási munkálatok a vizsgált folyószakaszon

A tanulmány vizsgálati területe a Magyarországot érintő Alsó-Tisza-vidék teljes, emellett a Középső-Tisza-vidék egy része. A Tisza szabályozások előtti és mai nyomvonala a 3. ábrán látható. A XIX. századi (kék vonal) és a mai nyomvonal összefedése jól mutatja, hogy hol történtek kanyarulat-átvágások a szabályozási munkák során. Ezen a szakaszon készültek el a 78–90. nyilvántartási számú átvágások (Deák 1996), amelyek az eredeti 263 km-es folyóhosszt 88 km-rel rövidítették le. A XX. századi kis- és középvízi szabályozások keretében hozzávetőleg 85 km-en létesítettek partbiztosításokat vagy eszközöltek mederszűkítést sarkantyúk segítségével (Ihrig 1973, ATIVIZIG 1982).



3. ábra: A Tisza szabályozások előtti és jelenlegi nyomvonala

A folyószakasz vízjárását jelentősen befolyásolja az 1976 óta működő törökbecsei duzzasztómű. Célja a kisvízi hajózás biztosítása volt, hatását pedig Csongrádig fejti ki (Farkas 2012). A kisvizek átlagos szintjének emelése Szegednél 2 m, Mindszentnél 1,5 m, Csongrádnál pedig 1,05 m (Bezdán 2011).

4. Adatok, módszerek

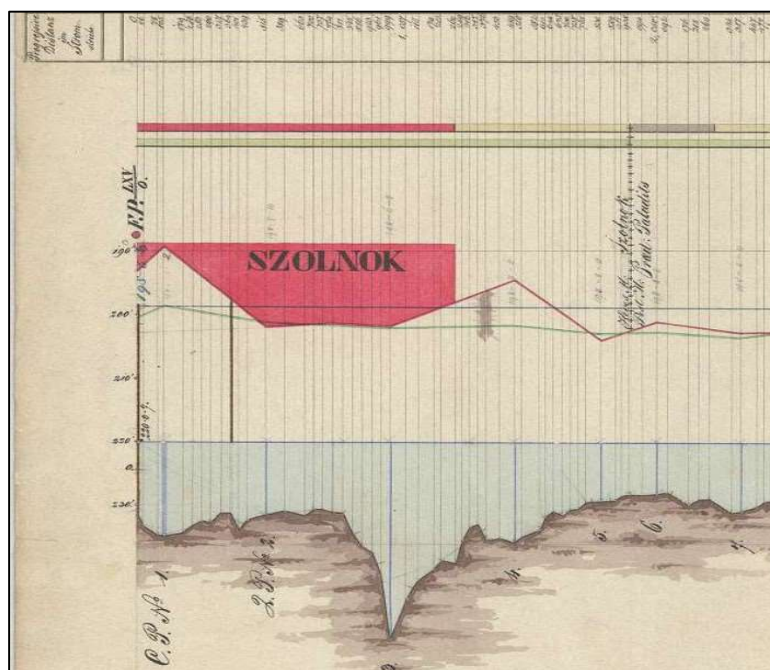
4.1. Szabályozás előtti hossz- és keresztshelvények

A kutatás alapadatait a Hungaricana térképes adatbázisából nyertem ki, ahol szabadon elérhetőek a Tisza-mappáció hossz- és keresztshelvényei (Vízrajzi Intézet 1845). A Tisza menti keresztshelvényeket 5 szerkezeti egységre tagolták, számozásuk minden szakasz kezdeténél 1-es jelzéssel újraindul. A szakaszok hossza és a hozzájuk tartozó keresztshelvények száma eltérő, pontos beosztásuk a 3. táblázatban látható. Az öt nagy szakaszból a IV.-et (Szolnok–Szeged) teljesen, az utána levő V. szakaszt pedig részben dolgoztam fel.

3. táblázat: A keresztshelvények felosztása

Szakasz száma	Térbeli elhelyezkedés	Keresztshelvények száma
I.	Aknaszlatina – Tiszaújlak	116
II.	Tiszaújlak – Tokaj	648
III.	Tokaj – Szolnok	467
IV.	Szolnok – Szeged	317
V.	Szeged – Titel (torkolat)	316

A felmérés hossz-shelvényeiből sok információ kinyerhető (4. ábra). A felső sorban a keresztshelvények sodorvonalon vett távolsága olvasható az aktuális szakasz kezdetétől bécsi ölben, ez az adatsor segített a shelvények digitalizálásában. Piros vonal jelöli a folyó jobb partjának futását, zöld pedig a bal partét. A térképekről leolvashatók még a folyó partján, vagy annak közelében elhelyezkedő települések, a betorkolló vízfolyások és fokok medre is megfigyelhető. Kék vonal jelzi az 1830-as árvízi legmagasabb vízszintet, alul a sátrózással kitöltött kék vonal pedig a folyó felvételezési vízszintjét, annak esését szemlélteti. A meder esése is követhető a víztömeget jelző sátrózott területek alatt. Ami szembetűnő, hogy a szélen lévő magassági skála lefelé haladva növekedik, emellett az adatok nem-metrikus adatként szerepelnek. Ez a fentebb tárgyalt Lányi-alapsík miatt van, amelyhez viszonyították a szintezést. A magassági adatokat az akkor használatos bécsi udvar mértékegységeivel adták meg.



4. ábra: Képkivágat a hossz-szelvényből

Egy jelentős adatállomány a korabeli kereszt-szelvényeket mutatja be, egyik példa az 5. ábrán látható. Az 1869 szelvényes adatbázisból 352-t használtam fel, elhelyezkedésük Szolnoktól a magyar–szerb határig terjed. Olykor magyar, olykor német nyelven kerültek feljegyzésre, de a számadatokban nem különböznek. Általánosságban a következők állapíthatók meg a szelvényekről: minden esetben a bal parttól a jobb partig kerültek ábrázolásra a partvonalak magasságukkal együtt, a köztük folyó Tisza felvételezési vízszintjén kívül még feltüntették az 1842-es rögzített kisvízszintet is (Sziberth 1898). Mindezen magassági értékek bécsi láb-hüvelyk-vonás hármas osztatban kerültek feljegyzésre, és az ún. Lányi-alapsík rendszerében, „Petronell alatti” szintkülönbségek (Sziberth 1898). A felvételezési vízszint alatti mélységek mérése öt bécsi ölönként (~9,3 m) kijelölt függélyekben történt a kereszt-szelvények mentén. A mélységeket bécsi lábban és hüvelykben jegyezték fel. A megszerkesztett szelvényekről mindemellett leolvasható a partvonal víztükörtől mért vízszintes távolsága, valamint a partélek felvételezési vízszinttől mért függőleges magassága is. A számadatok kiírása után kiszámíthattam a mederparamétereket.

Összegzésül, a teljeskörű digitalizálás érdekében a következő adatok állományba vitele történt meg: felvételezési vízszint, kisvízszint, bal part magassága, jobb part magassága, víztükör távolsága a jobb és bal partoktól, végül pedig a függélyek felvételezési vízszinttől mért mélységadatai.

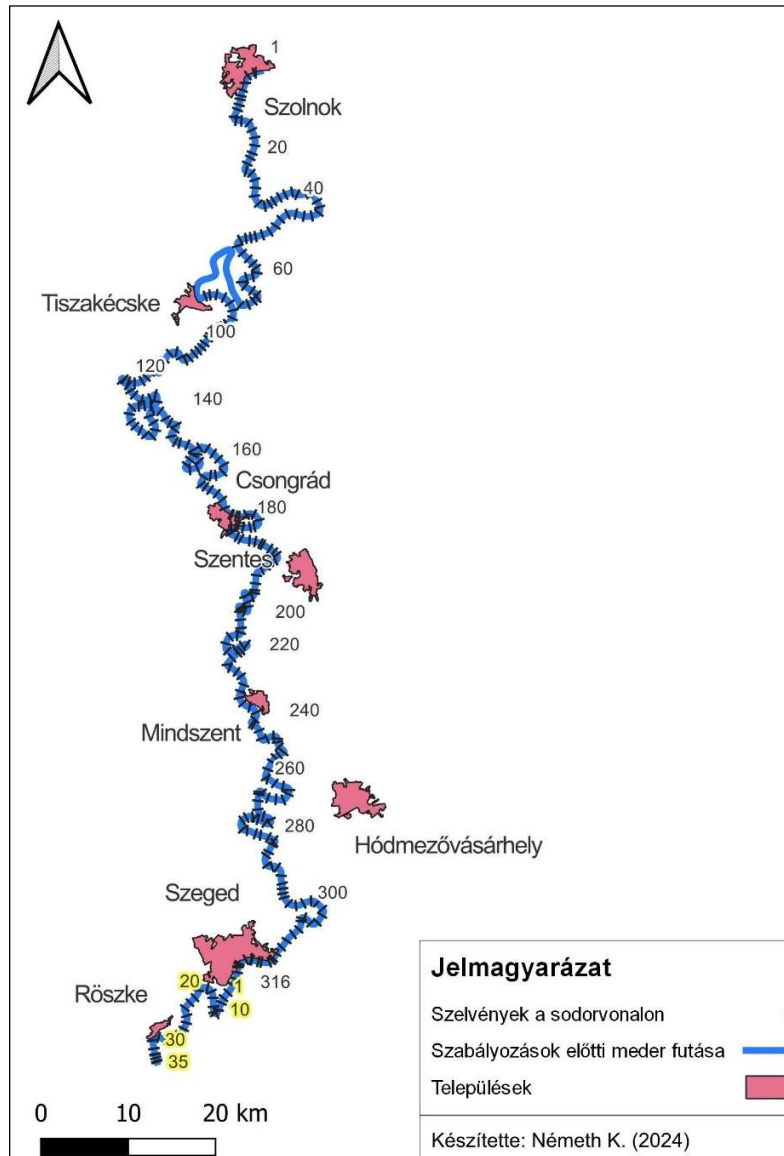
A relatív magassági rendszer abszolútba való átalakításával a magasságok a Balti-tenger feletti értékeit vették fel. Bendefy (1958) megállapításaiból arra lehet következtetni, hogy a petronelli alappont 145,352 m-es Adriai-tenger feletti magasságon volt található a nadapi rendszerben. Mivel a Balti-tenger szintje magasabb, mint az Adriaié, ezért ki kell vonni belőle 0,675 m-t (Rózsa és Tuchband 2018). Végül a számot megnöveltem 3,161 m-rel, hogy a 10 lábbal megemelt alapsíkot elérjem. A végeredmény 147,843 m lett, az adatbázison belül pedig minden egyes magassági értéket kivontam ebből a számból. Így a keresztshelvények nemcsak megjeleníthetők lettek, de elhelyezésre kerültek a ma használatos magassági alaphálózaton is.

4.2. A szabályozások előtti shelvények helyének azonosítása

A shelvények elhelyezésének érdekében elsősorban a szabályozások előtti Tisza sodorvonalát digitalizáltam be. Eerre megfelelő alaptérképek voltak a III. katonai (ferencjózsefi) felmérés georeferált shelvényei, mivel a szabályozások még éppen kezdeti fázisukban jártak a felmérés idején, és így egyszerre szerepeltek rajtuk a folyó egykori medre, illetve az újonnan készülő (vagy már átadott) vezérárkok is. Mindemellett a Tisza sodorvonala is feltüntetésre került, így ezen vonal mentén végeztem a digitalizációt Tiszaszigettől Szolnokig, több mint 3000 ponttal.

Az előző fejezetben említettem, hogy egy hossz-shelvényen található adatsor arról ad információt, hogy adott keresztshelvény milyen messze helyezkedik el a szakasz kezdetétől. A kumulatív adatok kiírása és metrikus rendszerbe való konvertálása után a keresztshelvények rajzai felett kézzel feljegyzett információk adtak útmutatást. A feliraktoból következtettem a shelvény helyzetére, a jegyzetekre néhány példa: Szolnoknál a Zagyva-torkolat távolsága, Szeged esetében az 1. számú shelvénynél „Szegedi hajóhíd alatt” felirat segített a tájékozódásban. Ezután a QGIS 3.28-as verziójában, különböző modulok segítségével ráegyeztettem a shelvényeket a sodorvonalra. A digitalizálás eredménye a 6. ábrán megtekinthető. A 260 km-es szabályozás előtti nyomvonalon összesen 330 keresztshelvényt használtam fel, a IV. szakaszból az 1–316. jelzésűek, az V. szakasz felmérései pedig 1–34. A IV. szakaszt bemutató sorozat egyik lapja nem hozzáférhető, így adathiány miatt a 65–82. számúak nem kerültek digitalizálásra.

A kanyarulatokban elfoglalt helyzetük ismeretében tovább tudtam bontani a keresztshelvényeket inflexiós és tetőponti shelvényekre: 59 inflexiós és 60 tetőponti került kiválasztásra.



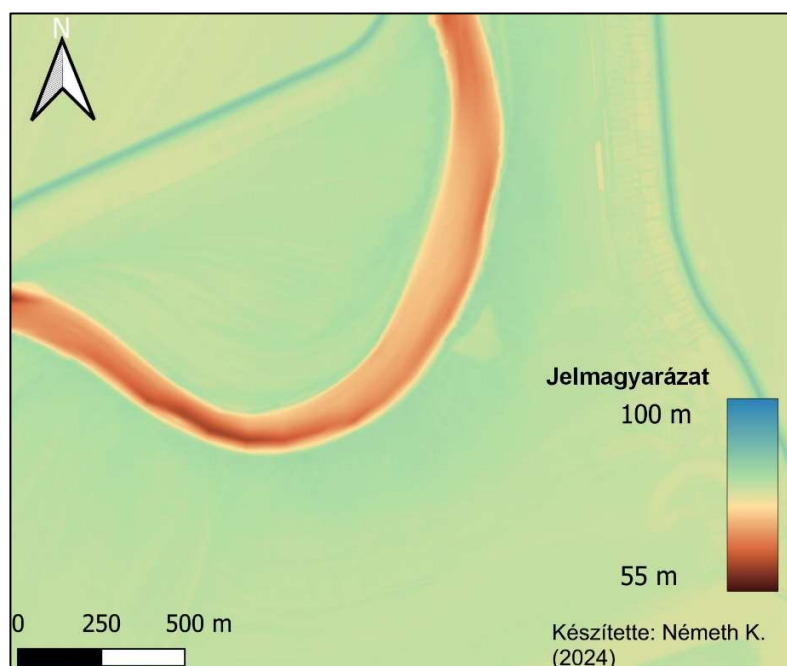
6. ábra: A szabályozás előtti kereszt-szelvények helyzete a meder futásán

4.3. A jelenlegi állapotot bemutató digitális domborzatmodell

A mai mederviszonyok bemutatására egy digitális domborzatmodellt vettem alapul (ld. 7. ábra), ahol a Tisza medrét szonár és LIDAR mérésekkel vették fel. A 2017-ből származó raszteres állomány pixeleinek felbontása 1x1 méter, ami kedvező a pontos kereszt-szelvények kinyeréséhez. A domborzatmodellt az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság szolgáltatta.

A XIX. századi szelvények közti távolság átlagosan 750 m volt, ezért ugyanilyen egymástól való távolságra vettem fel a mai meder futása mentén is a szelvényeket. Minden pixel attribútuma Balti-tengerszint feletti magasság, így különböző QGIS-ben található magasságprofil-

készítő modulok segítségével elkészítettem a meder keresztmetszékeit. Az eredmény 233 darab szelvény lett. Ezenkívül a kanyarulatok helyzete és a mélységviszonyok alapján is felvettem 55 inflexió és 51 tetőponti szelvényt az összehasonlítások érdekében.

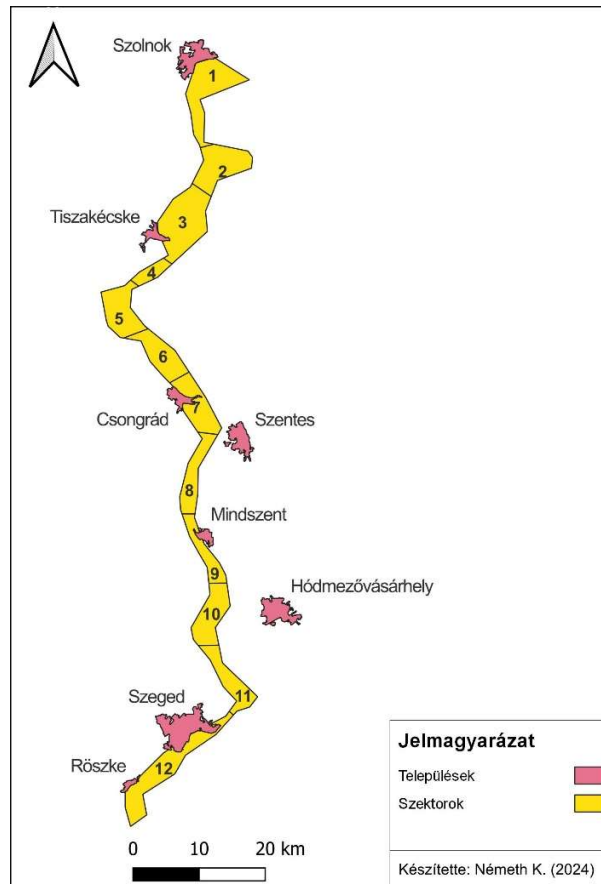


7. ábra: A digitális domborzatmodell ábrázolása

4.4. A szelvények felosztása szektorokra

A teljes mederszakasz átlagos paramétereinek meghatározása mellett fontosnak tartottam szektorok kialakítását is, hogy minél nagyobb felbontásban vonhassam le a következtetéseket. Tekintettel a szabályozások idején alkalmazott átvágásokra és a Tisza geomorfológiai változásaira, összesen 12 szektort különítettem el. Lehatárolásuk vizuális alapon történt, figyelembe véve a kanyarulatok fejlettségét, a futásirány változását. A szektorok alakja a szabályozás előtti meder

digitalizált meanderövét veszi fel, a pontos felosztás a 8. ábrán látható. A meanderöv az a terület, amelynek határát a kanyarulatok külső ívei jelölik ki (Balogh 2017).



8. ábra: Az összehasonlítási szektorok határai

4.5. A mederparaméterek definiálása

A szabályozás előtti szelvények és a domborzatmodellből kinyert magasságprofilok mindegyikére a következő paramétereket számítottam ki, melyekből mutatókat állítottam össze. A kiszámolásuk módja és képleteik az 5. táblázatban szerepelnek mind az egykori, mind az új szelvényekre vonatkozóan:

- alacsonyabb part magassága (h),
- meder átlagos magassága (p),
- közepes mederkitöltő mélység (d),
- teljes szélesség (w),
- legnagyobb abszolút mélység (d_{mabsz}),
- legnagyobb mélység (d_{max}),

- terület (A),
- szélesség/mélység arány (w/d),
- hidraulikus sugár (R).

5. táblázat: A mederparaméterek képletei

Mederparaméter	Képlet	1840-es szelvény	2017-es szelvény
alacsonyabb part magassága (p)			
meder átlagos abszolút magassága, (h)	átlag	az átlagos partvonalhoz viszonyított mélységfüggvényekből vont átlag	a szelvény pixeleinek magasságértékéből vont átlag
meder átlagos mélysége (d)	$p - h$	alacsonyabb part magassága – meder átlagos magassága	
teljes szélesség (w)	$n_1 + n_2 + n_3 \dots$	a felvételezi vízpart távolsága a parttól + vízfelszín szélessége	pixelek közti távolság összevonva
maximális abszolút mélység (d_{mabsz})	minimum	h adatai közül a legkisebb szám	
maximális mélység d_{max}	$p - d_{\text{mabsz}}$	alacsonyabb part magassága – maximális abszolút mélység	
terület (A)	$d * w$	átlagos mélység * teljes szélesség	
w/d	w/d	teljes szélesség / meder átlagos mélysége	
hidraulikus sugár (R)	$A / (2d + w)$	terület / átnedvesített kerület (téglalap 3 oldala)	

4.6. Szektoronkénti hosszrövidülés

A mutatók térbeli összefüggésére a választ a szektorokban folyó meder nyomvonalának hosszanti változásában keresem. Adott szektor hosszváltozásáról és annak mértékéről a 6. táblázatban láthatók a részletek. Nem mindegyik szektor folyószakaszán történtek kanyarulatátvágások, ezt szem előtt tartva válogattam le őket. Ezzel szemben némely szektorokat jelentősen szabályoztak, akár 69%-os hosszrövidülés is végbemehetett.

6. Táblázat: A szektorok hosszrövidülésének mértéke

Szektor	1842-es nyomvonal hossza (km)	2017-es nyomvonal hossza (km)	Változás (%)
1	16,9	17,2	1,8
2	20,9	21,2	1,4
3	37,7	21,4	-43,3
4	7,6	7,8	2,6
5	28,2	8,6	-69,5
6	20,7	10,1	-51,3
7	19,1	14,0	-26,5
8	22,5	15,5	-31,3
9	15,9	13,5	-15,2
10	23,5	10,9	-53,6
11	19,0	13,8	-27,6
12	31,0	22,1	-28,7

4.7. Hibabecslés

A digitalizálás és a mutatók számolása során különböző típusú hibák léphettek fel, amelyeket érdemes figyelembe venni az eredmények tárgyalása előtt. A petronelli rendszer pontos alapsíkjáról nem tudni bővebb információkat, így a görbületét sem, ami torzítást idézhet elő, nem megfelelő magassági értékeket eredményezve. Amennyiben a meghatározott magasság nem pontos, vagy az átszámítás képletébe került hiba, akkor fennáll az egész rendszerre vonatkozó, szisztematikus hiba lehetősége. Ezt úgy küszöböltem ki, hogy főként relatív adatokat vizsgáltam, csak a hossz-szelvény elkészítésénél használtam fel az abszolút magassági adatokat.

A szabályozás előtti szelvények digitalizálása során szisztematikus hiba léphetett fel a szelvények helyzetének meghatározása során, ha a sodorvonal áttevődött bizonyos kanyarulatokban, vagy különösen folyami szigetek esetében a Tisza-mappáció és a katonai térképek elkészítése közötti időszakban. Ez esetben a pontos X és Y koordinátákat fenntartásokkal kezeltem, a 260 km-es nyomvonalon a szelvények helyzete ± 150 m-rel lejjebb vagy feljebb helyezkedhetett el a valóságban.

Bizonyos szektorokra alacsony elemszám esett, ami növelheti a random hibákból eredő bizonytalanságot. Ezért az átlagokhoz tartozó szórás értékeket megjelenítettem a későbbi grafikonokon, hogy megismerhető legyen az adatok bizonytalansága.

5. Eredmények és következtetések

5.1. Átlagos változások a morfológiai paraméterekben

5.1.1. A keresztmetszeti paraméterek teljes szakaszra vonatkozó átlagos változása

Első lépésként a tiszai mederváltozás mértékét a két felvételezési időpontban meghatározott keresztmetszeti paraméterek teljes szakaszra vonatkozó átlagértékeinek összehasonlításával vizsgáltam. A paraméterek átlagos értékéről és változásáról a két időpont között a 7. táblázat ad átfogó képet.

A **mederszélesség (w)** nagymértékben csökkent, 21%-kal szűkült a meder átlagosan a két vizsgálati időpont között. Ez csaknem 44 m-nek megfelelő szűkülés, pontosabban 0,25 m/év szűkülési ütemet jelent (7. táblázat).

A **maximális mélység ($d_{\max}$)** növekedése, vagyis a bevágódás mértéke a vizsgált mederszakaszon 2,3 m. Ha a két felmérés közötti időszakot 175 évnek vesszük, úgy átszámítva 1,31 cm/év a bevágódás üteme. A pontosabb eredmény érdekében az **abszolút maximális mélység** alakulása a fontosabb, erről a 8. táblázat számol be. A mutató szerint a mélyülés 1 m-t tesz ki, éves szinten pedig 0,6 cm-t (8. táblázat).

A **szélesség/mélység arány** az egységnyi szélességre jutó mélységet fejezi ki. 12,7%-os csökkenése alapján a Tisza a meanderező folyókra jellemző keresztshelvények irányába mozdult el, illetve a meder beágyazottá vált.

A **shelvényterület (A)** nem mutat olyan jelentős változást, mint azt a szabályozásokat követő adatok összehasonlítása alapján elváránk. A shelvényterület átlagos növekedése 1,9%.

A folyó **hidraulikus sugara (R)** 22%-os növekedést produkált, így a Tiszában folyó víz a teljes szakasz átlagát tekintve kisebb mederfelülettel érintkezik, ami egyrészt alacsonyabb súrlódást, azaz jobb vízvezető képességet jelent, másrészt azonban a meder egységnyi felületre vonatkoztatott fajlagos munkavégző képessége ezáltal valószínűleg nagyobb, azaz a folyó jelentősebb felszínformáló képességgel bír jelenleg, mint a szabályozásokat megelőzően.

7. táblázat: A mederkitöltő vízszintre meghatározott mederparaméterek változása.
w: szélesség, d: átlagmélység, d_{max}: maximális mélység, w/d: szélesség-mélység arány, A: szelvény területe, R: hidraulikus sugár

	w (m)	d (m)	d _{max} (m)	w/d	A (m ²)	R (m)
1842	208	7,4	11,6	30,9	1488	6,8
2017	165	9,3	13,9	18,2	1517	8,3
Változás	-43	1,8	2,3	-12,7	29	1,5
Változás (%)	-20,7	+25,7	+19,8	-41,1	+1,9	+22

8. táblázat: abszolút magassági értékek változása.
h: meder átlagos abszolút magassága, d_{mabsz}: maximális abszolút mélységek átlaga

	h (m)	d _{mabsz} (m)
1842	73,1	69
2017	72,7	68
Változás	-0,4	-1
Változás (%)	-0,5	-1,5

5.1.2. Az inflexiós és tetőponti szelvényekre vonatkozó átlagértékek

A kereszt-szelvények kanyarulatban elfoglalt helyzete alapján elkülönítettem mindkét adatbázisban az inflexiós és tetőponti szelvényeket, nagyjából azonos elemszámmal. Az egész szakaszra vonatkozó átlagértékek változását a 9–10. táblázatok foglalják össze. **Az inflexiós szelvények a közepes szelvényterület változásán kívül minden más mutatóban nagyobb átalakuláson mentek keresztül:**

A **szélesség** esetében az inflexiós szelvényeknél 32%-os csökkenés tapasztalható, míg a tetőponti szelvények esetében valamivel kevesebb, de hasonló mértékű (-25%).

Sokkal nagyobb eltérés mutatkozik a **mélység** adatok alakulásában; az inflexiós szelvények **átlagos mélységnövekedése** 3–4-szerese a tetőponti szelvények átlagához képest, emellett a **maximális mélység** változása is 2–3-szoros.

Ennek megfelelően a **szélesség-mélység arány** változása szintén az inflexiós szelvényeknél magasabb, azonban a **szelvényterület** tekintetében a tetőponti szelvényeknél jelentősebb a csökkenés, csaknem kétszeres mértékű. Ennek oka, hogy míg a szélességcsökkenés volumenében és mértékében viszonylag kicsi az eltérés a két szelvénytípus esetében, addig a kereszt-szelvény területének csökkenése ellen ható mélyülés az inflexiós szelvényeket jobban érintette.

A mélység- és szélességparaméterek fenti változásából adódóan a **hidraulikus sugár** értéke az inflexiós szelvények esetében jelentősen nőtt, azaz ebben a tekintetben jelentősebben javult a vízvezető-képesség.

Összességében elmondható – mint az már a hossz-szelvények összehasonlításakor is kitűnt –, hogy az **inflexiós szakaszok mélyülése kiegyenlítettebbé tette a meder keresztmetszeti paramétereit**, ami az esés növekedésén túl jelentősen hozzájárul a **víz áramlási sebességének növekedéséhez**. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy mindeközben főleg a **tetőponti szelvények területének markáns csökkenése** játszódott le. A két folyamat egymás ellenében hat a meder által levezethető vízmennyiség, azaz a mederkitöltő vízhozam tekintetében. Az, hogy melyik tényező hatása erősebb, további számításokat igényel.

9. táblázat: *Inflexiós szelvények átlagos értékei és azok változása*

	w (m)	d (m)	d _{max} (m)	w/d	A (m ²)	R (m)
1842	223	6,6	9,3	35,0	1447	6,2
2017	151	8,6	11,7	17,9	1308	7,7
Változás	-72	2	2,4	-17,1	-139	1,5
Változás (%)	-32,0	29,4	26,4	-48,9	-9,6	23,5

10. táblázat: *Tetőponti szelvények átlagos értékei és azok változása*

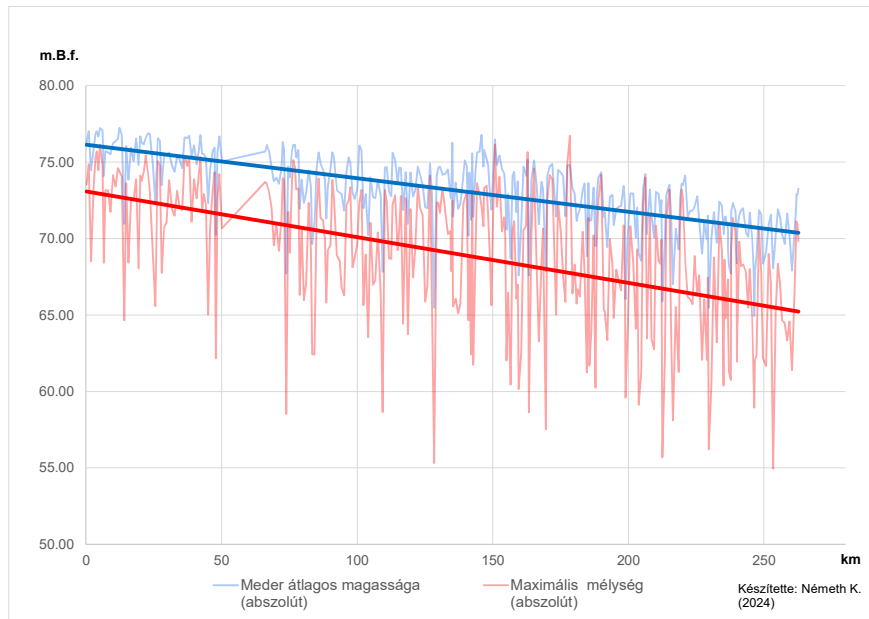
	w (m)	d (m)	d _{max} (m)	w/d	A (m ²)	R (m)
1842	173	9,3	15,7	19,8	1587	8,3
2017	129	9,9	17,2	13,3	1290	8,6
Változás	-44	0,6	1,5	-6,5	-297	0,3
Változás (%)	-25,3	7,1	9,2	-32,9	-18,7	3,4

5.1.3. A hossz-szelvény változása a teljes szakaszra vonatkozóan

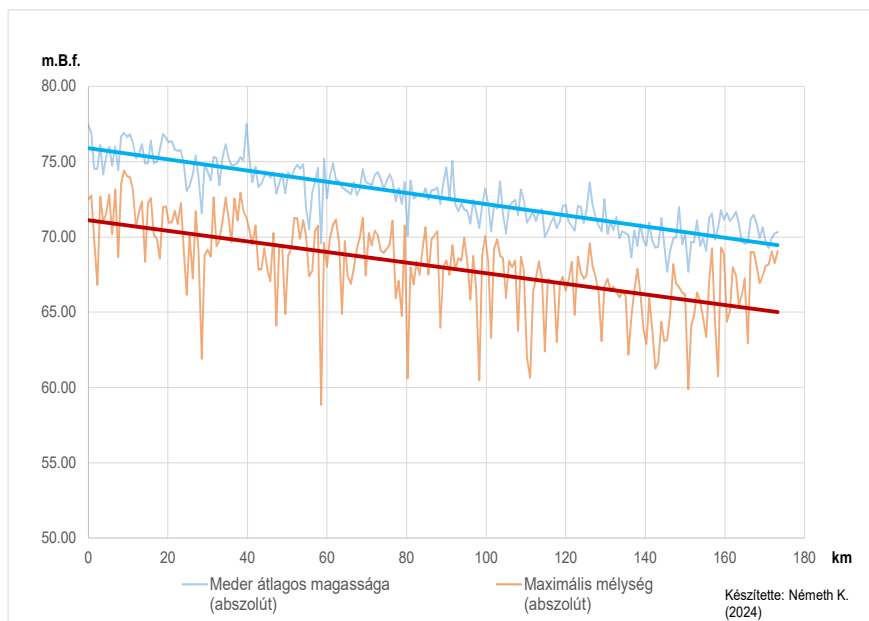
A két hossz-szelvény (9–10. ábrák) összehasonlítása alapján **megnövekedett az átlagos mederesés**, 2,19 cm-ről 3,72 cm-re változott kilométerenként; a 2017-es hossz-szelvényre illesztett trendvonal számottevően meredekebb.

Azt a következtetést is levonhatjuk, hogy csökkent az adatok fluktuációja, **a szórás 2,5-ről 2,1-es értékre csökkent**, azaz 15%-kal, ami kisebb szakaszok összevetésével még inkább szembetűnő. A 9. ábrán a 100–150 km-ek közötti szakaszon nagy az adatok szórása, illetve az átlagos abszolút medermagasságok bizonyos szakaszokon növekvő tendenciát mutatnak. Ezzel szemben a 2017-es hossz-szelvényt bemutató 10. ábra görbéje kisebb szórást mutat, a csökkenés egyenletesebb.

Az átlagos és maximális mederesések két trendvonalának egymáshoz viszonyulása alapján megállapítható, hogy a két vizsgált időpont között elkülönültek egymástól, vagyis **mederbevágódás** ment végbe. A 9. ábra maximális abszolút magasságra vonatkozó trendvonalára erősebben lejt, tehát folyásirány mentén jobban mélyült a meder. A 10. ábrán viszont a két trendvonal egyenletesen csökken, szinte párhuzamosan, csaknem 1 méter a különbség az adatsorok közepes értékei között.



9. ábra: Szabályozások előtti hossz-szelvény



10. ábra: 2017-es meder hossz-szelvénye

5.1.4. Következtetések

A szélességcsökkenés aránya (-24%) részben igazolja Fiala és Kiss (2006) eredményeit, akik 16%-os negatív változást állapítottak meg az Alsó-Tiszán VO szelvények alapján. Vizsgálataik során 0,2 m/éves szűkülést határoztak meg, az eredményeim pedig 0,25 m/éves értékkel közelítenek a korábbi adatokhoz. **Az inflexiós szelvények 32%-os mederszűkülése felülmúlja Fiala és Kiss (2006) eredményeit (15-19%), azonban ők is felhívták a figyelmet az akár 35%-os szűkülésre is.**

Fekete (1911) alapján a beágyazódás 2,20 cm/év volt a vizsgált szakaszon, ezzel szemben az eredményeim 1,31 cm/évről számolnak be, **tehát a bevágódási tendencia a XX. század elejétől fogva alábbhagyott.** Kiss et al. (2011) összegzései alapján az átlagmélység 5–45%-kal növekedett az Alsó-Tiszán, ebben a tartományban foglal helyet az általam meghatározott 25,7%-os növekedés.

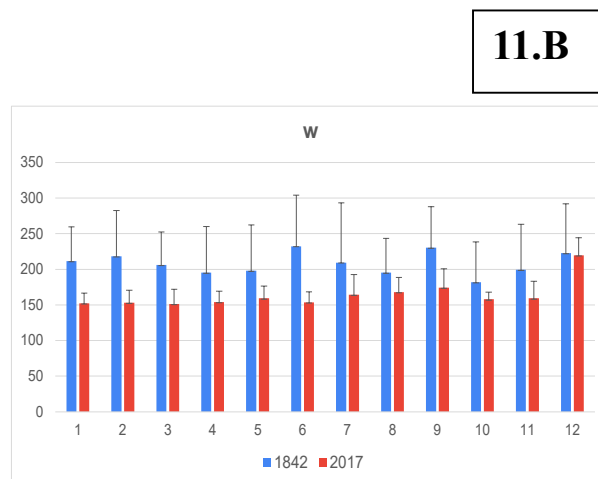
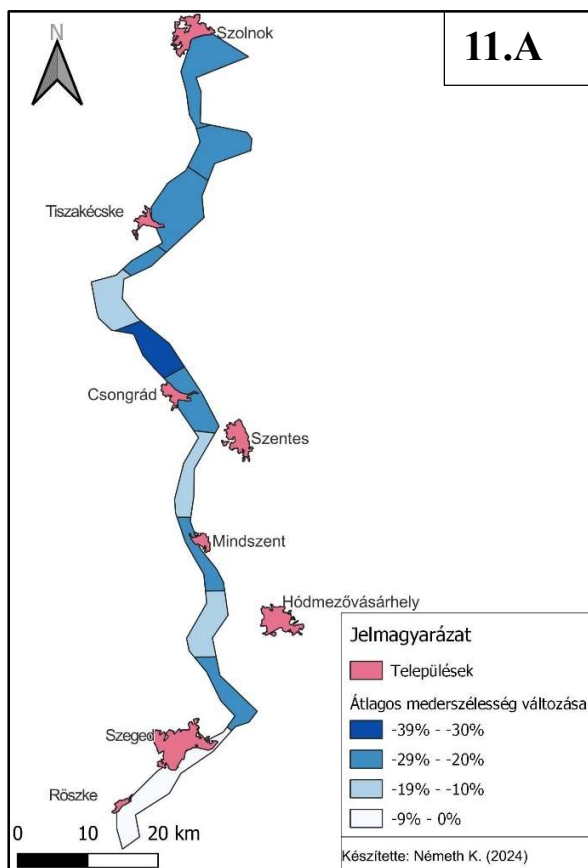
A szelvényterület mindössze 1,9%-os növekedése alátámasztja Fiala és Kiss (2004) eredményeit, miszerint **a folyó hosszútávon próbálja fenntartani a szelvényterület nagyságát;** s a szűkülést a bevágódással kompenzálja.

5.2. *A keresztmetszeti paraméterek változásának szektoronkénti vizsgálata*

5.2.1. Mederszélesség

A mederszélesség változása minden szektort negatívan érintett, tehát mindenhol szűkülés ment végbe. A 11/A–B ábrákon is megfigyelhető, hogy legkevésbé a 12. szektorban fejtette ki hatását ez a folyamat (-1,4%), leginkább viszont a 6. szektorban történt szűkülés (-33,9%). A 12.-et kivéve, mindegyik szektorban 10%-nál nagyobb volt a mederszűkület.

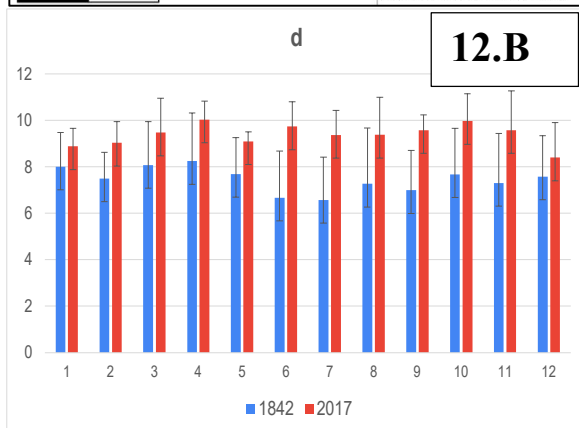
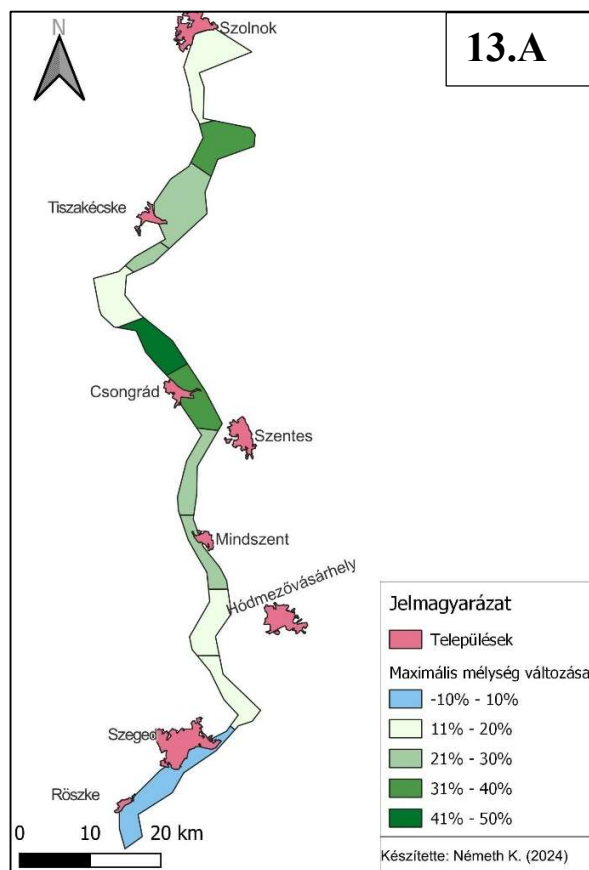
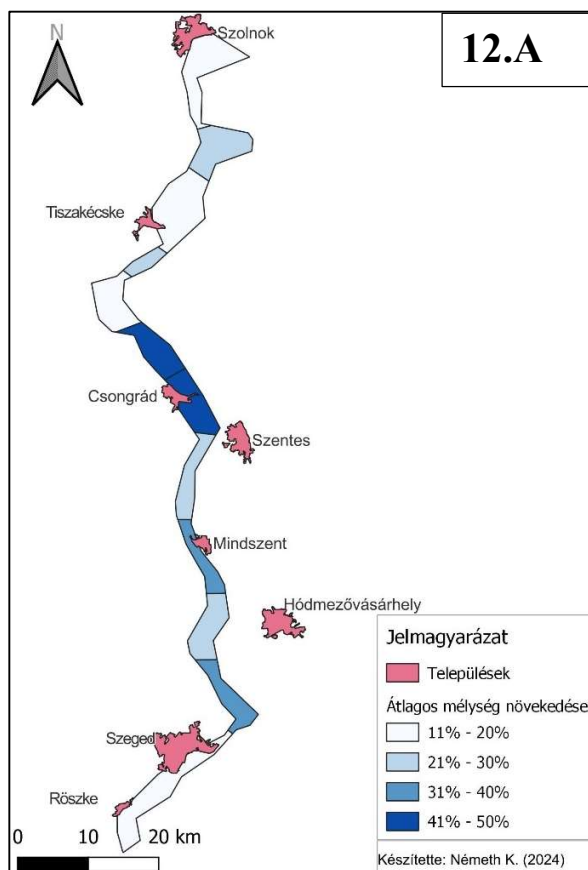
A 11/B grafikonon feltüntettem az adatok szórását is, ami szerint a **2017-es meder szektoronkénti szélessége sokkal kiegyenlítettebb, mint a XIX. századbeli:** a kék oszlopokhoz tartozó szórásérték minden esetben nagyobb, mint az piros oszlopoké.



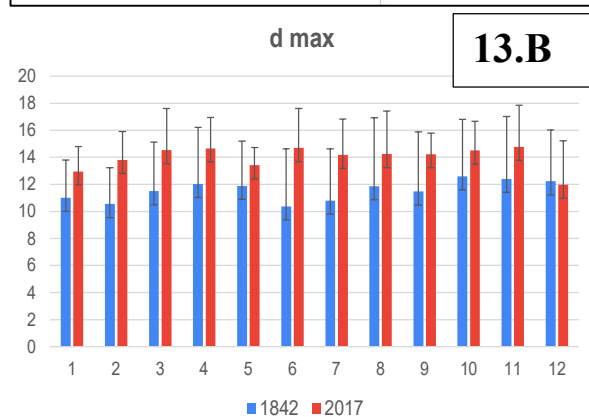
11. ábra: A) A mederszélesség változásának mértéke, valamint B) Szektoronkénti közepes mederszélességek 1842-ben és 2017-ben

5.2.2. Átlagos és maximális mélység

A meder átlagos és maximális mélységeinek változása szektoronként hasonló ütemben változott mindkét esetben a vizsgálati időpontok során (12–13. ábrák). A **legnagyobb változás az átlagmélység tekintetében a 6-os szektorban** ment végbe (46,0%), illetve a **maximális mélység növekedése is a 6-osban volt a legszámottevőbb** (41,7%). Ezzel szemben a legkisebb változások átlagos mélység esetén 10,8%-kal az 1. és 12. szektor; a maximális mélységet vizsgálva a 12-es szektorban nem ment végbe mélyülés, sőt 2%-kal csökkent a legnagyobb mélység értéke. A 6–7. szektorokban mind az átlagos, mind a maximális mélység nagymértékű változást produkált, miközben ezek erősen szabályozott szakaszok, több kanyarulatot is levágtak a területükön. Az alsó szakaszon inkább stagnálás, vagy csak kis mértékű mélyülésről tanúskodnak a mérések.



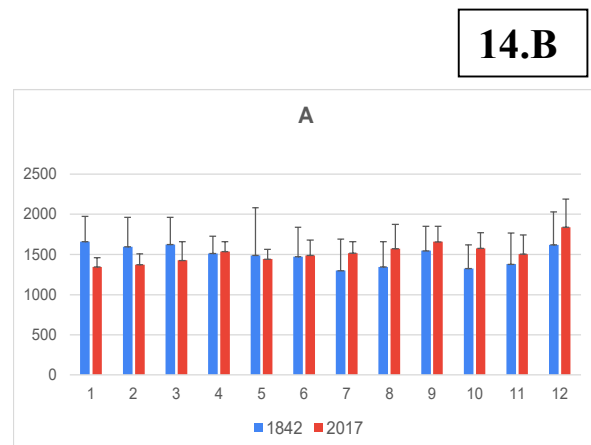
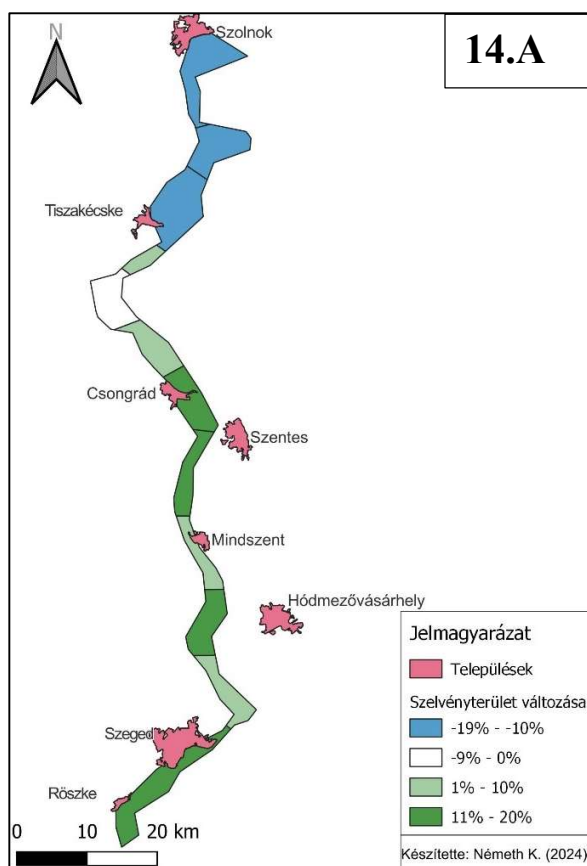
12. ábra: A) Az átlagmélység változásának mértéke B) Szektoronkénti átlagmélység értékek 1842-ben és 2017-ben



13. ábra: A) A maximális mélység változásának mértéke, valamint B) A maximális mélység változása és annak szektoronkénti eltérései

5.2.3. Szelvényterület

Habár az egész mederszakaszra készített átlagok azt mutatják, hogy nem volt jelentős a kereszt-szelvények területének változása, a részletesebb betekintés során azt találtam, hogy a **térben nagy eltérések mutatkoznak** (14/A–B ábrák). A felső szektorokban területcsökkenés ment végbe, a legjelentősebb szelvényterület-csökkenést az 1. szektor produkálta (-18,9%). Az 1–3. és 5. szektorok kivételével a többi esetben növekedett az átlagos szelvényterület, a 10. szakasznál egészen nagy mértékben, 19,0%-kal, de nem maradnak el ettől sokkal a 7–8. szektorok sem (16,8%, 17,0%).



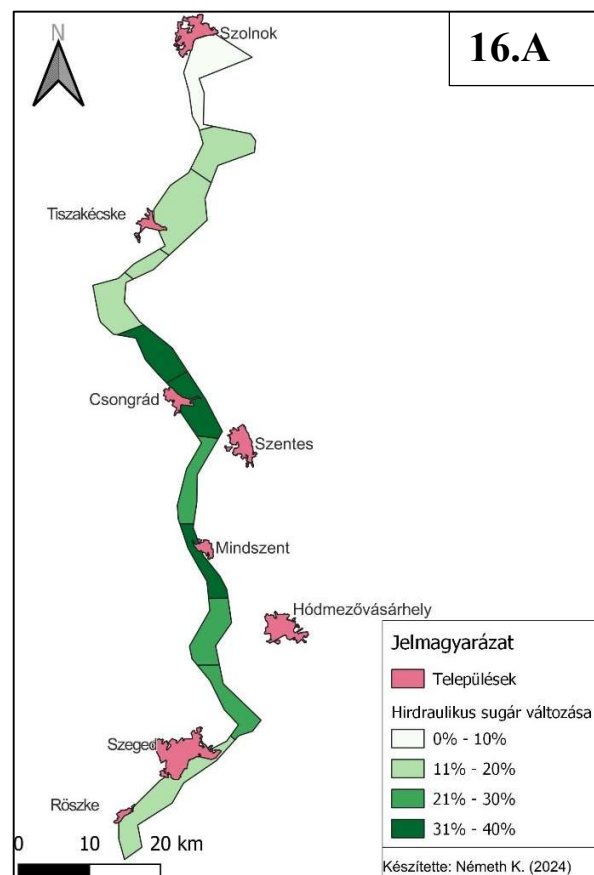
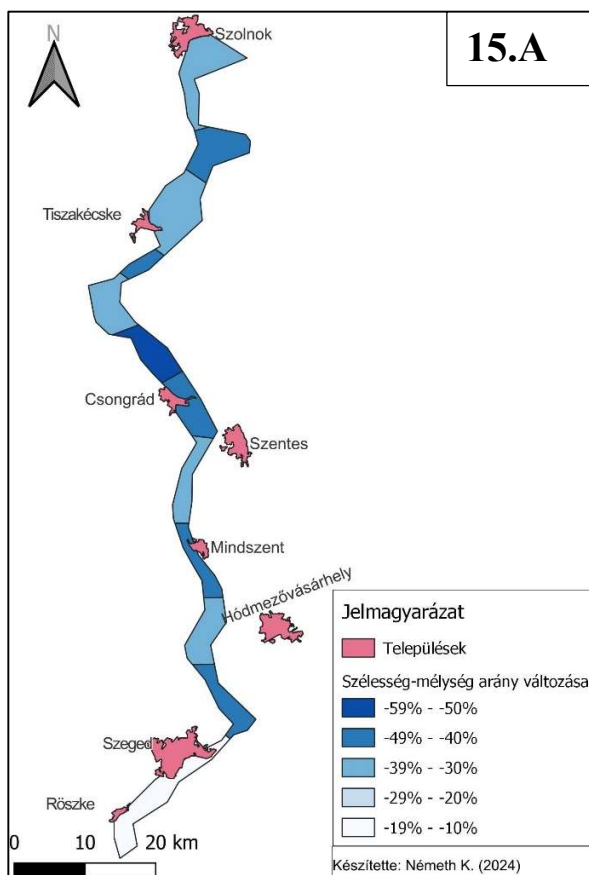
14. ábra: A) A szelvényterület változása, valamint B) Szektoronkénti átlagos szelvényterület 1842-ben és 2017-ben

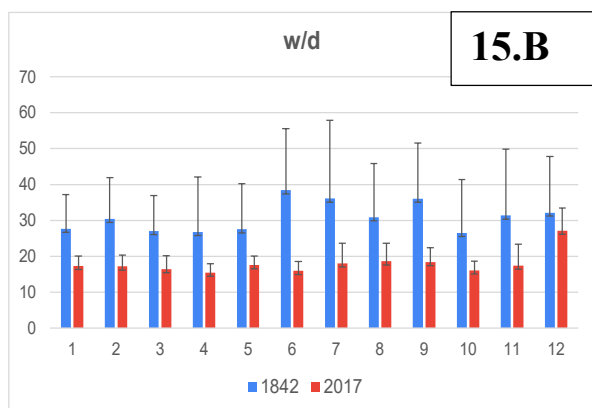
5.2.4. Szélesség-mélység arány és hidraulikus sugár

A két származtatott mutató mélyebb betekintést nyújt a változásokba (15–16. ábrák). A **szélesség-mélység arány minden szektorban csökkent, illetve a hidraulikus sugár értéke mindenhol növekedő tendenciát mutat.**

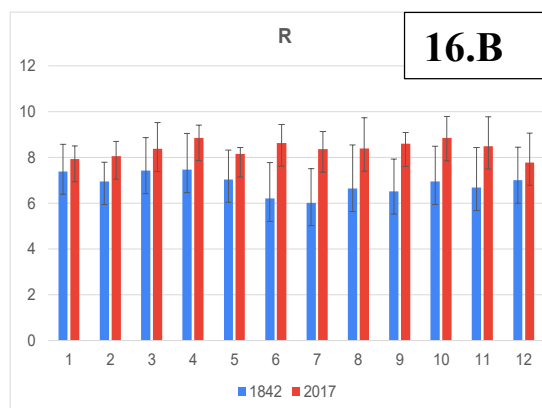
A w/d érték a 6-os szektor esetében a legkifejezettebb (-58,4%), a legenyhébb pedig az utolsó szektorban (-15,7%). A szektorok tekintetében történt w/d érték szórása 15,3-ról 5,2-re csökkent, ami markáns változásnak bizonyul. A szám minden szektorban végbement csökkenése arról tanúskodik, hogy a **szabályozott meder beágyazódott, miközben egyenletesebbé vált** a szektorokon belül.

A R-érték 2,4 m-es növekedésével a 7-es szektorban a legerősebb (39%). Ezzel szemben az első szakasznál kis mértékű a változás, 0,5 m-es, ami 7,3%-nak felel meg. A növekvő tendencia szerint a szektorokban eltérő mértékkel, de a meder alakja közelebb került a félkörhöz. Ez azt jelenti, hogy csökken a víz és mederfal közti súrlódás, ami növeli a víz áramlási sebességét.





15. ábra: A) A szélesség-mélység arány változásának mértéke, valamint B) Szektoronkénti w/d 1842-ben és 2017-ben



16. ábra: A) A hidraulikus sugár változásának mértéke, valamint B) szektoronkénti hidraulikus sugár 1842-ben és 2017-ben

5.2.5. Következtetések

A vizsgált paraméterek szektoronkénti vizsgálatában megmutatkoznak a térbeli különbségek. A szélsőértékek ismeretében megállapítható, hogy **a 6. (Csongrád feletti) szektorban mentek végbe a legnagyobb mederátalakulások**, mert 6 morfológiai mutató esetében is itt tapasztaltam a legnagyobb eltéréseket. Ha hozzáadjuk a vele szomszédos 7. szektort, akkor 8 szélsőértékről beszélünk. Az okok feltárása további vizsgálatokat igényel, de közrejátszhatnak a jelentős hosszrövidülés vagy a partbiztosítások jelentős hossza (összesen 24 km a szakaszon).

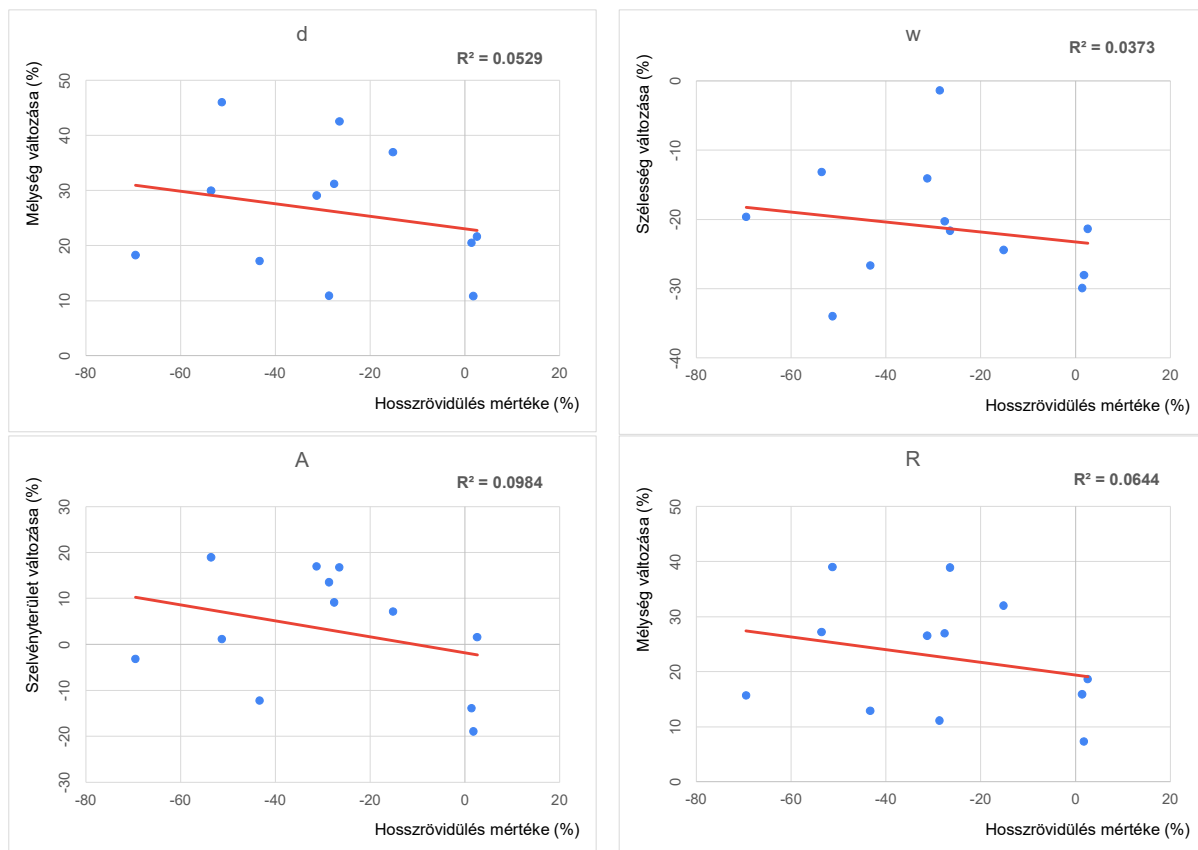
Ezenkívül a **12. (Szeged alatti) szektor 3 alkalommal bizonyult szélsőségesnek**. Ennek hátterében nagy valószínűséggel a partbiztosítások mellett a Maros-torkolat és a törökbecsei duzzasztómű hatásai lehetnek.

Általában, ahol **csökkent a szelvényterület, ott a hidraulikus sugár sem növekedett nagy mértékben**. Ez a tény további kérdéseket vethet fel az árvízvédelem szempontjából, ugyanis a két tényező együttes romlása lokálisan negatív hatással lehet a meder vízvezető képességére.

5.3. A keresztmetszeti paraméterek változásának térbeli különbségét meghatározó tényezők

5.3.1. Kapcsolat a hosszrövidüléssel

Ebben a fejezetben azt vizsgálom, hogy a különböző mederparaméterek változása milyen mértékben függött össze adott szektorok nyomvonalának hosszrövidülésével. A 4.6. és 5.2. fejezetekben tárgyalt fontosabb paraméterek szektoronkénti átlagát használtam fel az összefüggések felállításához, megjelenítve mindegyik összefüggés determinációs együtthatóját (R^2). A grafikonok összesítései a 17. ábrán találhatók, a független változó (hosszrövidülés mértéke) az X-tengelyen és a függő változó (mederparaméter változása) az Y-tengelyen. Az R^2 értéke akkor jelez erős korrelációt, ha 1-hez közelít. A grafikonok alapján azt a következtetést vontam le, hogy a mederparaméterek közül egyik R^2 érték sem közelítette meg még a 0,1-es értéket sem, tehát **nincsen kimutatható korreláció** a paraméterek változása és a hosszrövidülés között.

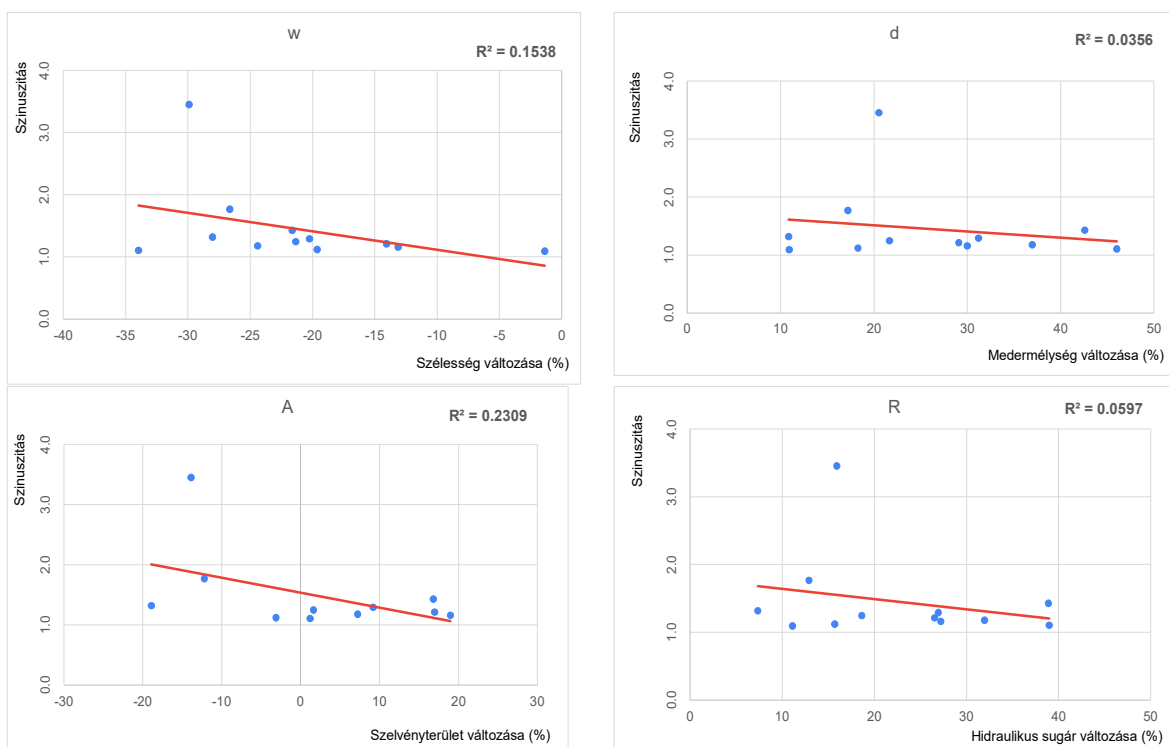


17. ábra: A szektorok különböző mederparaméter-összefüggései a hosszrövidüléssel

5.3.2. Kapcsolat a kanyarulatfejlettséggel

A kanyarulatfejlettség, vagy más néven szinusztás meghatározásához a folyó középvonalának hosszát és a szektorhatárok közé húzott egyenes hosszának hányadosát használtam fel. Ez a szám azt méri, hogy milyen mértékű az adott szakaszon a folyó kanyargóssága (Balogh 2017). A paramétert mindegyik szektorra kiszámítottam, és pontdiagramokra helyezett lineáris trendvonal segítségével megállapítottam az R^2 értékét. Az adatok könnyebb vizualizációja céljából felcseréltem a függő és független változó tengelyeit, de ez nem befolyásolja az R^2 értékét. A grafikonokat az előző fejezethez hasonlóan most is összesítve jelenítem meg (18. ábra).

A mederszélesség R^2 eredménye 0,15, ez csekélynek mondható a korrelációs küszöbértékhez viszonyítva. Ennél nagyobb, de hasonlóképpen alacsony R^2 értéket kaptam a szelvényterületre (0,23). A két mutatóról összességében elmondható, hogy egy-egy kiugró adat miatt kaphattam 0,1 feletti R^2 értéket. A többi vizsgált paraméter (átlagmélység, hidraulikus sugár) eredményei pedig egyáltalán nem mutatnak összefüggést ($R^2=0,04$, illetve $R^2=0,06$). Mindezek alapján a jelenlegi meder kanyarulatfejlettsége és a tapasztalt változások között szintén nem mutatható ki korreláció.

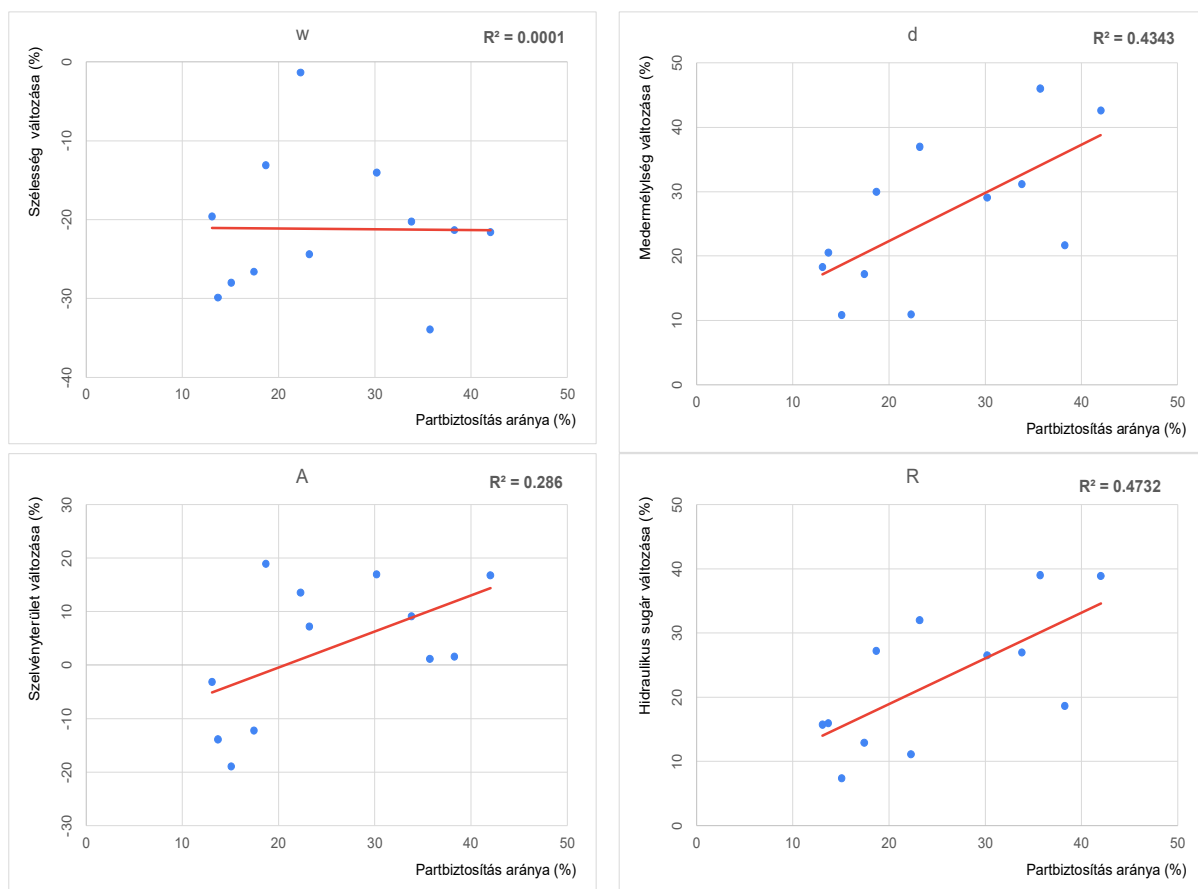


18. ábra: A szektorok különböző mederparaméter-összefüggései a kanyarulatfejlettséggel

5.3.3. Kapcsolat a partbiztosítások hosszával

A feltételezés szerint a kisvízi szabályozás során létesített partbiztosítások hossza nagy hatással van a mederparaméterek alakulására. Adott szektor partvonalait nézve meghatároztam, hogy milyen arányban vannak jelen partbiztosítások. Ez az arány a vízszintes tengelyen szereplő független változó, a függő változók pedig a mederparaméterek (szélesség, átlagmélység, szelvényterület és hidraulikus sugár). Az grafikonok az összesített 19. ábrán láthatók, és kifejezik, hogy a mutatók milyen korrelációs viszonyokban állnak a partbiztosítások meglétével. A szélesség tekintetében eddigi eredményeim alapján nincs összefüggés ($R^2=0,0001$), ellenben az átlagmélység esetében sokkal erősebb az R^2 értéke: 0,43. A szelvényterület és a hidraulikus sugár trendvonalai pozitív irányba mutatnak, azonban az előbbi kisebb R^2 értéket (0,29) vesz fel, mint az utóbbi (0,47). A viszonylag magas determinációs együttható érték és a trendvonal iránya mind arra mutatnak, hogy enyhe **korreláció van** a két paraméter változásai és a partbiztosítások megléte között. A legtöbb esetben a 11-es szektor pontja illeszkedik leginkább a trendvonalhoz.

Összegzésül elmondható, hogy a partbiztosítások létesítése befolyásolja az átlagos medermélységet, tehát bevágódást idéznek elő, és ez részben kifejezi hatását a szelvényterület alakulásában is. A partbiztosítások változtatnak az eróziós viszonyokon is, növelik a hidraulikus sugár értékét, ezáltal a víz sebessége is megnövekszik. Az eredményeket befolyásolhatja a partbiztosítások kora is, ez további kutatást igényel.



19. ábra: A szektorok különböző mederparaméter-összefüggései a partbiztosítások arányával

6. Összegzés

Tanulmányomban azt vizsgáltam, hogy a szabályozások előtti Alsó- és (részben) Középső-Tisza-meder tulajdonságai miként változtak meg a különféle szabályozási munkálatok hatására. Általánosságban elmondható, hogy a legtöbb mederparaméter változása közel megegyező a korábbi kutatások eredményeivel.

A **mederszélesség** 24%-os csökkenést produkált az egész szakaszra nézve, azonban területi elkülönülést mutat: a felsőbb szektorokon (1–7.) nagyobb mértékű volt a szűkülés (19–34%), míg az alsóbbakon ez kevésbé volt kifejezett (1–20%).

Az **átlagos és maximális mélység** változása mindegyik szektorban csökkent (1,31 cm/év), az értékek abszolút magasságban történő vizsgálata alapján viszont a mutató még kisebb számokat ad (0,57 cm/év). Ezzel összefügg a meder **hossz-szelvénye**, amivel kapcsolatban az a leginkább szembeűnő, hogy bevágódás ment végbe, valamint az adatok szórása csökkent, tehát egyenletesebb lett az esés.

A **szélesség és mélység** kapcsolatát kifejező mutató 12,7%-ot csökkent, ez a meder beágyazódását igazolja. Az érték a szektorok között változó, de megállapítható róluk, hogy csökkent a szórásuk, ami szintén a meder kiegyenlítettebb állapotára utal.

A **szelvényterület** átlagos változása közel 2%-os növekedést mutatott. A szektorokra vetítve jelentős területi különbség figyelhető meg. A felső szektorokban jelentős csökkenés ment végbe (-3–19%), míg az alsó szektorok átlagos szelvényterülete 7–20%-kal növekedett.

A **hidraulikus sugár** értéke általánosságban 22%-kal nőtt, a meder áramlási szempontból kedvezőbb képet mutat. Kis mértékű volt a felső szakaszok R-növekedése (7–15%). Ezzel szemben a 6. szakasz alatt már nagyobb növekedés történt (11–39%). A paraméter alakulása a szelvényterület-csökkenést részben ellensúlyozhatja.

Végül összevetettem a mutatók változását a **hossz-rövidüléssel**, amire statisztikai módszereket alkalmaztam. Egyik mutató változása sem közelíti statisztikailag a korreláció bizonyíthatóságát, tehát a kanyarulatok átvágásán túl más beavatkozások indíthatták be a paraméterek változását.

A **szinusztás** csak a szélességgel és a szelvényterülettel mutat alacsony korrelációt. A többi paraméter esetében az érték alacsony volt.

A **partbiztosítások** szektoronkénti partvonal hosszához viszonyított aránya kimutatható összefüggést produkált a mélység és a hidraulikus sugár változásával. Közvetetten hatással van a szelvényterületre is. A partbiztosítások korával való összefüggés további kutatást igényel a jövőben.

Végezetül elmondható, hogy az elemzések segítségével sikerült nagy elemszámú keresztshelvény együttes vizsgálatával kimutatni a medermorfológia változásában megfigyelhető térbeli különbségeket, ami nagyban hozzájárulhat a további beavatkozások tervezéséhez, illetve a fenti elemzések megteremtik a lehetőséget annak, hogy további számítások segítségével a folyó egykori és jelenlegi munkavégző képességét, valamint morfológiai egyensúlyát értékeljük.

Hivatkozások jegyzéke

- Ágoston I. 2001. A nemzet inzellérei. Vízmérnökök élete és munkássága XVIII–XX. sz. Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság, Szeged. pp. 37–57.
- ATIVIZIG 1982. A Tisza folyó déli országhatártól – Csongrádig (159,6–253,8 fkm) terjedő szakaszának általános szabályozási terve. Szeged. pp 101–162.
- Bendefy L. 1958. Szintezési munkálatok Magyarországon 1820–1920. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Bezdán M. 2011. A szabályozott Tisza vízjárása tulajdonságai a Tiszafüred alatti folyószakaszon. Szegedi Tudományegyetem, Szeged.
- Bogdán I. 1990. Magyarországi hossz- és földmértékek: 1601–1874. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 35.
- Botár I. – Károlyi Zs. 1973. A Tisza szabályozása. In *A Tisza szabályozása I. rész (1846–1879)*, Botár I. – Károlyi Zs (szerk.). VÍZDOK, Budapest.
- Deák, A. A. 1996. A háromszögeléstől a Tisza-szabályozásig. Tanulmányok és válogatott dokumentumok a Tiszavölgyi Társulat megalakulásának és Vásárhelyi Pál halálának 150. évfordulójára. Vízügyi Múzeum, Levéltár és Könyvgyűjtemény, Budapest. pp. 79–95
- Dóka K. 1997. A Körös és Berettyó vízrendszer szabályozása a 18–19. században (Egy táj átalakulása). Erdman Gyula, Gyula. pp. 211–222. 72–83
- Downs, P. W. – Gregory, K. J. 2004. River channel management: towards sustainable catchment hydrosystems. Arnold Publisher, London.
- Dunka S. – Fejér L. – Vágás I. 1996. A veritékes honfoglalás. A Tisza szabályozás története. Vízügyi Múzeum, Levéltár és Könyvgyűjtemény. Budapest. 240 p.
- Farkas Cs. 2012. Az Alsó-Tisza, a törökbecsei duzzasztóig. *Magyar Horgász*, **64/1.**: pp. 40–43.
- Fiala K. – Kiss T. 2004. Mederváltozások és következményeik vizsgálata az Alsó-Tiszán. Magyar Földrajzi Konferencia. Szeged. p. 9
- Fiala K. – Kiss T. 2005. A középvízi meder változásai az 1890-es évektől az Alsó-Tiszán. *Hidrológiai Közlöny* 85: pp. 60–65.
- Fiala K. – Kiss T. 2006. A középvízi meder változásai az 1890-es évektől az Alsó-Tiszán II. *Hidrológiai Közlöny* 86 5. sz.: pp. 13–17.
- Ihrig D (szerk.). 1973. A magyar vízszabályozás története. OHV, Budapest. pp. 158–170; 114–124
- Károlyi Z. 1960. A tiszai mederváltozásai, különös tekintettel az árvízvédelemre. VITUKI, Budapest, p. 101.
- Károlyi Z. 1973. A Duna-völgy vizeinek szabályozása. In *A magyar vízszabályozás története*, Ihrig D (szerk.). OVH, Budapest. pp. 155–160.
- Kiss T. – Sipos Gy. – Fiala K. 2011. Az Alföld töltések közé szorított folyói. In *Környezeti változások és az Alföld*, Rakonczai J (Szerk.). Nagyalföld Alapítvány Kötetei, Békéscsaba pp. 211–223
- Kozák P. 2020. Az Alsó-Tisza vízgyűjtőjének vízgazdálkodási mérföldkövei az elmúlt 100 évben és kihívásai az elkövetkezendő 100 évre. *Hidrológiai Közlöny* 100: pp. 18–27.
- KÖTIVIZIG. 2014. Jelentős vízgazdálkodási kérdések – Vitaanyag – Tisza részvízgyűjtő. Szolnok. p. 36.

- Kuzmann G. 1981. Hidrológiai észlelések a Duna budapesti szelvényében 1817–1875. *Hidrológiai Közöny* 61: pp. 358–367.
- Kvassay J. 1902. A szabályozások hatása a folyók vízjárására Magyarországon. *Vízügyi közlemények* 15. füzet: pp. 8–27.
- Lászlóffy W. 1973. A Tisza-völgy vízrajzi képe a szabályozási munkák küszöbén. In *A Tisza szabályozása I. rész (1846–1879)*, Botár I. – Károlyi Zs(szerk.). VÍZDOK, Budapest.
- Lászlóffy W. 1982. A Tisza. Vízi munkálatok és vízgazdálkodás a tiszai vízrendszerben. Akadémiai Kiadó, Budapest. pp. 84–85.
- Lóczy D. – Veress M. 2005. Geomorfológia I. Földfelszíni folyamatok és formák. Dialóg Campus Kiadó, Budapest–Pécs. pp. 36–95.
- Megulesz G. 2010. A magyar víztársulati rendszer kialakulása – út az első önálló víztársulati törvényig. In: *A magyar vízgazdálkodás története*. A Magyar Hidrológiai Társaság XXVIII. Országos Vándorgyűlése, Sopron.
- Mészáros V. 1979. Széchenyi és a magyar vízügyek. VÍZDOK, Budapest.
- Nagy J. – Fiala K. – Blanka V. – Sipos Gy. – Kiss T. 2017. Hullámtéri feltöltődés mértéke és árvizek közötti kapcsolat az Alsó-Tiszán. *Földrajzi Közlemények* 141: pp. 44–59.
- Petts, G. E. 2018. Perspectives for Ecological Management of Regulated Rivers. In *Alternatives in regulated river management*, Gore, J.A. – Petts, G. E (szerk.). CRC Press, Boca Raton. pp. 3–24.
- Rózsa Sz. – Tuchband T. 2021. Földmérés II.: a földmérő, földügyi és térinformatikai szakképzés tankönyve. Herman Ottó Intézet, Budapest. pp. 86–87.
- Schweitzer F. 2001. Társadalom és környezet: Gátépítés vagy hullámtér bővítés. Folyóink hullámtereinek fejlődése, kapcsolatuk az árvizekkel és az árvízvédelmi töltésekkel. In *A táj megértése felé*, Illyés Z (szerk.). Eszterházy Károly Főiskola, Eger. Pp. 95–103
- Schweitzer F. 2004. Katasztrófa vagy stratégia – A tiszai hullámtér vizsgálata: víztározók, hullámtérbővítés, gátépítés. *Élő Jászkunság* 2004/1. sz. Nagyalföld Kiadó, Szolnok. pp. 6–13.
- Sipos Gy. – Kiss T. 2008.: Alluviális vízfolyások mederformálásának sebessége. In *Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon*, Kiss T. – Mezösi G (szerk.). Szegedi Egyetemi Kiadó, Szeged. pp. 15–25.
- Somogyi S (szerk.). 2000. A XIX. századi folyószabályozások és ármentesítések földrajzi és ökológiai hatásai Magyarországon. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. pp. 153–164.
- Sziberth A. 1898. A Tisza folyó keresztjelvényei. In *A Tisza hajdan és most IV.*, Péch J (szerk.). Pallas Részvénytársaság Nyomdája, Budapest.
- Varga G. – Fábián Sz. Á. – Kovács I. P. – Schweitzer F. 2018. Gondolatok a Kárpát-medencei folyók árvizeiről. *Földrajzi Közlemények* 43: pp. 291–308.
- Varga Gy (szerk.). 2018. Vizek. In *Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet*, Kocsis K (főszerk.). MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest. pp. 70–75.

Internetes források jegyzéke:

- Balogh K. (szerk.) 2017. Szedimentológia. Akadémiai Kiadó. <https://doi.org/10.1556/9789634540496>. (Letöltve: 2025. 01. 02. https://mersz.hu/dokumentum/m197sz_97/#m197sz_s5.6_p4)
- Lechner Tudásközpont. 2024. Felszínborítás. <https://lechnerkozpont.hu/oldal/felszinboritas>. (megtekintve: 2024.11.20.)
- Országos Vízügyi Főigazgatóság. 2024. Vízügyi Honlap. <https://www.vizugy.hu/?mapModule=OpGrafikon&AllomasVOA=73F7E264-985C-11D4-BB62-00508BA24287&mapData=OrasIdosor>. (megtekintve: 2024.11.12.)
- Országos Vízügyi Főigazgatóság. 2024. Vízügyi Honlap. <https://www.vizugy.hu/?mapModule=OpGrafikon&AllomasVOA=73F7E260-985C-11D4-BB62-00508BA24287&mapData=OrasIdosor>. (megtekintve: 2024.11.12.)
- Országos Vízügyi Főigazgatóság. 2024. Vízügyi Honlap. <https://www.vizugy.hu/?mapModule=OpGrafikon&AllomasVOA=73F7E261-985C-11D4-BB62-00508BA24287&mapData=OrasIdosor>. (megtekintve: 2024.11.12.)
- Országos Vízügyi Főigazgatóság. 2024. Vízügyi Honlap. <https://www.vizugy.hu/?mapModule=OpGrafikon&AllomasVOA=73F7E1F4-985C-11D4-BB62-00508BA24287&mapData=OrasIdosor>. (megtekintve: 2024.11.12.)
- Vízrajzi Intézet. 1845. Keresztszelvények szegedi haóhídon alul kezdve... a Tisza... [S 80 – Tisza. – No. 56/66-76.]. <https://maps.hungaricana.hu/hu/MOLTerkeptar/29462/>. (megtekintve: 2024.09.17.)
- Vízrajzi Intézet. 1845. Querprofile von Szolnok... bis Szegedin... [S 80 – Tisza. – No. 55/57-88.]. <https://maps.hungaricana.hu/hu/MOLTerkeptar/29455/>. (megtekintve: 2024.09.17.)
- Vízrajzi Intézet. 1845. Tisza szabályozási hossz-szelvényei Tisza Újlaktól a Dunáig [S 80 - Tisza. - No. 38/1-8.]. <https://maps.hungaricana.hu/hu/MOLTerkeptar/29430/>. (megtekintve: 2024.10.08.)

Köszönetnyilvánítás

Ez úton szeretném megköszönni az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságnak és a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságnak a partbiztosításokat bemutató adatbázisokat, melyek nagyban hozzájárultak az eredményeimhez.