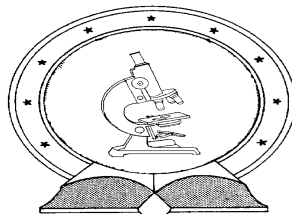


DE TTK



1949

**A horizontális mederdinamikában bekövetkezett változások
geomorfológiai, hidrológiai és ökológiai összefüggései
a Sajó hazai szakaszán**

Doktori (PhD) értekezés

Bertalan László

Témavezető:
Dr. habil. Szabó Gergely

DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi és Informatikai Doktori Tanács
Földtudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2019.

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi és Informatikai Doktori Tanács Földtudományok Doktori Iskola „A lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai” programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Nyilatkozom arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Debrecen, 2019. október 4.

*Bertalan László
a jelölt aláírása*

Tanúsítom, hogy Bertalan László doktorjelölt 2012-2016. között a fent megnevezett Doktori Iskola „A lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai” programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult.

Nyilatkozom továbbá arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2019. október 4.

*Dr. Szabó Gergely
a témavezető aláírása*

**A HORIZONTÁLIS MEDERDINAMIKÁBAN
BEKÖVETKEZETT VÁLTOZÁSOK GEOMORFOLÓGIAI,
HIDROLÓGIAI ÉS ÖKOLÓGIAI ÖSSZEFÜGGÉSEI
A SAJÓ HAZAI SZAKASZÁN**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében a Földtudományok
tudományágában

Írta: **Bertalan László**, okleveles geográfus

Készült a Debreceni Egyetem Földtudományok Doktori Iskolája
(A lito- és hidroszféra természetes és antropogén folyamatai programja) keretében

Témavezető: **Dr. habil. Szabó Gergely**, egyetemi adjunktus

A doktori szigorlati bizottság:

elnök: Prof. Dr. Dévai György

tagok: Dr. habil. Burai Péter

Dr. Négyesi Gábor

A doktori szigorlat időpontja: 2018. február 27.

Az értekezés bírálói:

Dr. habil. Czigány Szabolcs

Dr. habil. Rózsa Péter

A bírálóbizottság:

elnök: Dr.

tagok: Dr.

Dr.

Dr.

Dr.

Az értekezés védésének időpontja:

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés, célkitűzések.....	7
2. Szakirodalmi áttekintés	9
2.1. A meanderező folyók geomorfológiai sajátosságai és problémái	9
2.2. A meanderező folyók és a parterózió ökológiai vonatkozásai	11
2.3. A meanderező folyók mederdinamikai elemzésének módszerei.....	12
2.3.1. <i>Geomorfológiai folyamatok vizsgálata pilóta nélküli</i> <i>légijárművekkel</i>	<i>14</i>
3. A Sajó hazai szakaszának bemutatása	17
3.1. Sajó vízgyűjtőjének általános bemutatása	17
3.2. A Sajó-völgy fejlődéstörténete és geomorfológiai jellemzői	19
3.3. A Sajó vízgyűjtőjének éghajlata	23
3.4. Mederrendezési munkálatok a Sajó mentén	24
3.4.1. <i>A Sajó csatornázása</i>	<i>24</i>
3.4.1.1. Az első tervek	24
3.4.1.2. Az első kapavágástól az első leállásig	25
3.4.1.3. Árvízi katasztrófák és munkálatok a két világháború között...26	
3.4.1.4. Csatornázás és szabályozás az iparosítás időszakában	27
3.4.1.5. Utolsó próbálkozások, borsodi nehézipar összeomlása	27
3.4.2. <i>Árvízmentesítési munkálatok a Sajó hazai szakaszán</i>	<i>28</i>
3.4.3. <i>Beavatkozások a Sajó szlovák szakaszán</i>	<i>29</i>
3.4.4. <i>A Sajó hidrográfiája és mederdinamikája a vízügyi leírások</i> <i>alapján</i>	<i>29</i>
4. Anyag és módszer.....	31
4.1. Felhasznált adatok a Sajó hosszútávú mederdinamikai változásának elemzéséhez.....	31
4.2. Hidrológiai adatelemzés	32
4.3. Rész-szakaszok lehatárolása.....	35
4.4. Medermorfometriai paraméterek és a laterális mederelmozdulás vizsgálata	37
4.5. Parterózió monitoring pilóta nélküli légijárművekkel.....	40
4.6. Szedimentológiai vizsgálatok.....	44
4.6.1. <i>A kanyarulatok part-anyagának vizsgálata.....</i>	<i>44</i>
4.6.2. <i>Szemcseeloszlási vizsgálatok.....</i>	<i>44</i>
4.7. A kanyarulatfejlődés ökológiai vonatkozásainak vizsgálata a Sajó mentén	45
4.7.1. <i>A vizsgálathoz felhasznált térképi és légifotó állomány</i>	<i>47</i>
4.7.2. <i>Tájmetriai elemzés.....</i>	<i>48</i>
4.8. Statisztikai elemzés	51
4.8.1. <i>A rész-szakasz lehatárolásának és a horizontális</i> <i>medermorfometriai paraméterek statisztikai elemzése</i>	<i>51</i>
4.8.2. <i>A kanyarulatfejlődés ökológiai vonatkozásaihoz kapcsolódó</i> <i>statisztikai elemzés</i>	<i>52</i>

5. Eredmények	54
5.1. A Sajó hosszútávú mederdinamikai vizsgálatának eredményei	54
5.1.1. <i>Rész-szakaszok lehatárolása</i>	54
5.1.2. <i>A horizontális medermorfometriai paraméterek és emberi beavatkozás térbeli változékonysága</i>	60
5.1.3. <i>A horizontális medermorfometriai paraméterek időbeli változékonysága</i>	62
5.1.4. <i>Laterális mederelmozdulás</i>	70
5.1.5. <i>Erózió és akkréció által érintett területek kiterjedése</i>	72
5.1.6. <i>A Sajó természetes és antropogén rész-szakaszai közötti statisztikai különbségek</i>	75
5.2. A Sajó rövidtávú mederdinamikai vizsgálatának eredményei.....	76
5.2.1. <i>Az UAV-alapú parterózió-monitoring eredményei</i>	76
5.2.1.1. Kazincbarcika.....	76
5.2.1.2. Sajószentpéter	78
5.2.1.3. Ónod.....	80
5.2.1.4. Nagycsécs.....	82
5.2.1.5. A parterózió mértékének eloszlása a mintaterületeken	84
5.2.2. <i>Szedimentológiai eredmények</i>	84
5.2.2.1. Kazincbarcika.....	84
5.2.2.2. Sajószentpéter	85
5.2.2.3. Ónod.....	86
5.2.2.4. Nagycsécs.....	86
5.3. Sajó menti kanyarulatfejlődés ökológiai vonatkozásaihoz kapcsolódó eredmények.....	89
6. Diskusszió	96
6.1. Sajó hosszú távú mederdinamikájában bekövetkezett változások... 96	
6.2. A Sajó rövidtávú mederdinamikájában bekövetkezett változások 103	
6.2.1. <i>A partelmozdulás és a partfalak szedimentológiai tulajdonságainak kapcsolata</i>	103
6.2.2. <i>A sajószentpéteri eróziós esemény lehetséges okai</i>	105
6.3. A Sajó kanyarulatfejlődésének ökológiai vonatkozásai	107
7. Összefoglalás	114
8. Summary	122
Felhasznált irodalom	128
Ábrák jegyzéke	155
Táblázatok jegyzéke	158
Köszönetnyilvánítás	159
Mellékletek	161
Publikációs jegyzék	169

1. Bevezetés, célkitűzések

A 2010-es év nyara az egyik legsúlyosabb árvizes időszak volt Borsod-Abaúj-Zemplén megye történetének. A májusban és júniusban bekövetkezett heves esőzések hatására az ország több pontján alakult ki árvízveszély. A korábbi évek idősorai alapján a szokásos csapadékmennyiség többszöröse hullott le néhány nap leforgása alatt. A korábbi csapadékos hónapok eredményeképpen az árhullámok egymást követték, emiatt pedig az addig mért legnagyobb vízszintet (LNV) megközelítő, sőt azt meghaladó vízállások alakultak ki. A Sajó, Hernád, Bodrog, Tarna és Takta folyón mentén rendkívüli árhullámok vonultak le (Szaló et al. 2011).

A kritikus helyzet kezelése érdekében a Sajó és a Hernád mentén rendkívüli, a Taktán, a Tisza taktaközi szakaszán, a Tarnán valamint a Bodrogon III. fokú árvízvédelmi készültséget rendeltek el (Internetes hivatkozás 1). Az árvízi helyzet súlyossága okán a Kormány 2010. május 17-25. valamint június 2-17. között Borsod-Abaúj-Zemplén megye teljes közigazgatási területére veszélyhelyzetet hirdetett. Az árvízvédekezési munkálatok közben 208 településen volt szükség beavatkozásra, ugyanis az áradás hozzávetőlegesen 11.500 magán- és önkormányzati tulajdonú épületet és közel 100 ezer ember biztonságát veszélyeztette. A kitelepített lakók száma elérte a 4.643 főt (Kiss és Bekő 2015).

A Központi Statisztikai Hivatal jelentése szerint az árvízi vészhelyzet által érintett megyékben a védekezés összköltsége meghaladta a 4 milliárd forintot, a védekezési munkálatokban 8.753 fő vett részt tevékenyen (Internetes hivatkozás 2).

Természetesen az egyik legfontosabb lépés egy ilyen árvizes időszak után a károk mihamarabbi elhárítása és a szükséges preventív jellegű beavatkozások kivitelezése. Azonban a helyzet súlyossága okán sajnos sok esetben nem jut elegendő idő a kiváltó okok minden részletre kiterjedő azonosítására. A Sajó hazai szakasza rendelkezik ugyanis árvízvédelmi töltésekkel valamint szabályozott partszakaszokkal, azonban átfogó mederrendezés eddig nem valósult meg (ÉMVIZIG, VGT2).

A fentiek alapján fontosnak tartottam, hogy feltárjam a Sajó hazai szakaszán végbement mederdinamikai változásokat, valamint kijelöljem a recens kanyarulatfejlődés által leginkább veszélyeztetett rész-szakaszokat. Fontosnak tartom, hogy geomorfológiai, hidrológiai és ökológiai szempontok figyelembevételével bemutassam a Sajó hazai szakaszán zajló mederváltozási folyamatok negatív és lehetséges pozitív hatásait is. Véleményem szerint egy ilyen jellegű áttekintő munka nagyban elősegítheti az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság munkáját egy hatékonyabb mederrendezés és ártéri gazdálkodás terv kidolgozásában.

Habár a kutatásaim során sikeresen gyűjtöttem térképi, légifotó, ill. hidrológiai adatokat a Sajó szlovákiai, forrásvidéki szakaszára vonatkozóan is, azonban a disszertáció terjedelmi korlátai miatt ezek részletes elemzésétől és tárgyalásától eltekintettem.

Az előzőek alapján doktori kutatásaim és a disszertációm megírása során az alábbi kérdésekre kerestem a választ, a Sajó hazai szakaszának vizsgálatával:

1. A természeti és antropogén eredetű befolyásoló tényezők alapján elkülöníthetők-e azonos jellegű rész-szakaszok a Sajó hazai szakaszán?
2. Milyen jellegű és mekkora mértékű változáson ment keresztül a Sajó horizontális mederdinamikája az utóbbi hét évtized folyamán?
3. Időben hogyan változott a Sajó hazai szakaszára jellemző mederformáló vízhozamok mértéke, és ez milyen összefüggésben van a horizontális mederdinamikával?
4. Milyen jellegű különbségek azonosíthatók a Sajó hazai szakaszán különböző rész-szakaszokon végbement rövidtávú kanyarulatfejlődés dinamikájában?
5. A Sajó hazai szakaszán vizsgált eltérő jellegű kanyarulatok parteróziójának intenzitása mennyire függ össze a partok anyagának szemcseösszetételével?
6. A Sajó hazai szakaszán végbement kanyarulatfejlődéshez kapcsolódó parterózió káros következményei mellett milyen lehetséges pozitív következmények azonosíthatók az ökológiai diverzitás szempontjából?

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. *A meanderező folyók geomorfológiai sajátosságai és problémái*

Az aktívan fejlődő folyómedrek dinamikusan formálják az árterületet, ez pedig hatással van a környezetre és a közeli tájkarakterre is (Hooke 2007; Dotterweich 2008; Hooke 2008; Yousefi et al. 2018). A hatékony vízrendezés és földgazdálkodás kialakítása szempontjából éppen ezért kiemelt fontosságú, hogy feltárjuk és értelmezzük azokat a fluviális geomorfológiai részfolyamatokat, melyek helyi és globális szinten is hozzájárulnak ehhez jelenséghez (Gregory 2006; Lóczy és Pirkhoffer 2009; Zilliani és Surian 2012; Cunha et al. 2017).

A folyók meanderezésével kapcsolatban általánosságban elmondható, hogy az ilyen típusú, a folyópart eróziójával végbemenő mederfejlődést és –vándorlást, számos hidrológiai és geológiai tényező egyaránt befolyásolja, úgy, mint a meder partfalának anyaga (Hooke 1980; Rhoads és Welford 1991; Konsoer et al. 2016a), az árhullámok és a vízhozam ingadozásai (Phillips 2002; Rusnák és Lehotsky 2014; Dépret et al. 2015), vagy éppen a forrásvidék és az ártér területhasználata (Micheli et al. 2004; Gumiero et al. 2015). Ez csupán néhány eleme a teljes rendszernek, de ebből is látható, hogy a meander-fejlődés leírása vagy a későbbiekben a predikciója kizárólag egy holisztikus nézőpontból lehet sikeres (Hooke et al. 2011; Güneralp et al. 2012). A mederben szállított hordalék mennyisége és minősége alapvetően meghatározza a kanyarulatfejlődést (Gautier et al. 2007; Xia et al. 2014), azonban a folyamat természetes dinamikáját napjainkban már egyre inkább az olyan antropogén jellegű beavatkozások határozzák meg, mint a duzzasztógátak létesítése (Ibáñez et al. 2013; Grill et al. 2015; Kiss és Balogh 2015), az árapasztó tározók kialakítása (Ran et al. 2010; Su et al. 2015), vagy a mederből történő kavicsbányászat, amely közvetve a meder extenzív bevágódását és partpusztulását is előidézhetheti (Richardson és Fuller 2010).

Meanderező medertípus esetén a mederben áramló vízfolyás által alámosódik a kanyarulatok külső íve, a víztest egy része elszivárog a mederből, valamint jelentős tömegmozgásos jelenségek következnek be (Szabó 1997). A földrajzi környezettől függően ezek között eltérő típusok azonosíthatóak: a partfal anyagának lemezes elválása majd omlása, mederbe csúszása vagy forgó csuszamlása illetve az esetek többségében suvadása (Szabó 1999; Langendoen és Andrew 2008; Kozma 2015; Konsoer et al. 2016a). A mederbe kerülő partfal-anyag a folyó által tovább szállítódik, s folyásiránynak megfelelően az alsóbb szakaszokon felhalmozódhat, majd övzátonyokat képezhet egyes kanyarulatok belső ívében, ahol jelentősen kisebb az áramlási sebesség (Dragičević et al. 2013, 2017). A meanderező medrek keresztmetszései aszimmetrikus alakkal rendelkeznek, mely mentén változatos mederfenék-, ill. áramlási mintázatok a jellemzőek, ez pedig megmutatkozik az ott kialakuló élőhelydiverzitásban is (Nakano és Nakamura 2007). Az övzátonyok egyedi pozitív kiterjedésű felszínformák (Schweitzer et al. 2002; Kiss és Balogh 2015) a folyómedrek csekély energiájú szakaszai mentén, a kanyarulatok belső ívében, ahol a hordalék lerakódását és felhalmozódását a recirkulációs zónák hatása is elősegíti (Gábris 2003; Garcia et al. 2012). A folyamat eredményeképpen alakulnak

ki a magasabb és alacsonyabb mederformák, az övzátóny-sarlólapos rendszerek (Szabó et al. 2017). A mélyebb sávok mentén tovább tart egy-egy meder általi vízkitöltés, az ezeket követő szárazabb időszakokban viszont lehetővé válik pionír növénytársulások (bokrok, cserjék, fák) megtelepedése a frissen lerakott finom szemcséjű hordalékfelszíneken (Garcia et al. 2012). Az intenzív kanyarulatfejlődés és medervándorlás olyan ideális körülményeket tart fenn, melyek nagyban segítik a vegetáció szukcessziós folyamatát (Hickin 1974), ugyanis a meder laterális aggradációja maga után vonja a vegetáció kolonizációjának fokozódását (Ward et al. 2002). A legnagyobb mértékű parterrózió főleg az övzátónyok szimmetria-tengelyétől folyásirányban lefelé jelentkezik, ami többnyire elnyújtott, ferde vagy összetett kanyarulatokat alakít ki (Hickin 1978).

Sok esetben a folyók mentén nem megfelelően kialakított szabályozási védművek valamint az egyre szélsőségesebbé váló klimatikus tényezők jelentős növelhetik a meder-elmozdulás intenzitását (Michalková et al. 2011; Blanka és Kiss 2011; Ta et al. 2013; Rusnák és Lehotsky 2014). A megnövekvő parterróziós ráták továbbá veszélyeztetik az ártér élővilágát és a tájszerkezeti elemeket is (Ta et al. 2013). A partpusztulás révén emelkedik az árvízveszély valószínűsége is, ami magában hordozza a szennyezőanyagok széleskörű elterjedését is, ez pedig további fenyegetést jelent a lakott területekre nézve (Rhoades et al. 2009; Das et al. 2012). Jóllehet a megfelelően kivitelezett mederrendezés és szabályozások hiányában a parterrózió súlyos környezeti probléma, azonban a dinamikusan fejlődő folyómedrek olyan természetes folyamatokat is előidézhetnek, melyek a partmenti élővilág komplexitását és életminőségét is kedvezően befolyásolhatják (Micheli et al. 2004). A parterrózióval egyidőben a hordalék horizontális akkréciója is végbemegy a kanyarulatok csekélyebb áramlási intenzitással rendelkező belső ívén, ez pedig, ideális körülmények között, hosszútávon lehetővé teszi új vegetációs csoportosulások megtelepedését is. Vitathatatlan, hogy az ártér kulcsfontosságú elemeit emberi beavatkozások segítségével védeni kell, de gyakran célszerűbb együttműködni a folyóval, együttműködni a természettel s nem mindenáron irányítani azt teljes egészében. Alapvető fontosságú az olyan antropogén eredetű hatások csökkentése, mint az extenzív területhasználat-változás, az egyre intenzívebb városi területnövekedés, melyek mind káros hatást fejtenek ki a felszíni és felszín alatti vízminőségre, valamint fokozhatják a talajeróziót, ill. a természetes mederelmozdulást (Ayele et al. 2018; Challa et al. 2008). A vízügyi és a környezetvédelmi szakemberek számára helyi szinten a természeti katasztrófák előrejelzése, a mezőgazdasági károk csökkentése és a hatékony ártér-rehabilitáció szempontjából a domináns eróziós-akkumulációs folyamatok értelmezése jelenti az egyik legnagyobb kihívást (Piégay et al. 1997; Micheli et al. 2004; Güneralp et al. 2012; Lóczy et al. 2017). Mindezek alapján egyértelműen szükség van olyan kutatásokra, melyek a medermorfometria eszköztárát felhasználva képesek átfogó képet adni az adott folyó mederdinamikájáról, elősegítve egy sokkal hatékonyabb vízügyi tervezés megvalósítását.

2.2. A meanderező folyók és a parterózió ökológiai vonatkozásai

A folyómedrek és az őket övező árterek kedvező hatással vannak a felszín fejlődésére és ez által a környezet diverzifikációjára (Gurnell és Grabowski 2015). A kiterjedt szabályozás, mederrendezés, partvédelem és árvízi töltések által kevésbé érintett kvázi-természetes folyómedrek hidromeomorfológiai elemei kimondottan érzékenyek a vízgyűjtőn bekövetkező hirtelen változásokra. A partmenti sávokat kolonizáló vegetációt gyakori ártéri hatás vagy jelentős aszály sújtja, így ezeken a területeken főleg olyan növények maradnak fent, melyek már hozzászoktak a változatos vízjáráshoz. Ennek következtében az említett növényfajok alapvető hatással vannak a mederben és a mederszegélyen kialakuló geomorfológiai és hidraulikai folyamatokra ugyanis nagy mennyiségű szerves anyagot kötnek meg a mederben szállított hordalékanyagból (Gurnell et al. 2012). Ezek a növényfajok nagy napfényigénnyel rendelkeznek, melyet sűrű lombkoronaszinttel borított területeken nem kaphatnak meg, így főleg újonnan kialakuló, nyílt akkumulációs térszíneken telepednek meg leggyakrabban. A folyamat során kialakuló foltos vegetáció-mozaik jól reprezentálja az árvízi elöntés, parterózió, akkumuláció során fejlődő változatos élőhelydiverzitás létrejöttét (Shin és Nakamura 2005). Ezen felül az ilyen típusú partmenti vegetáció nagyfokú természetes ellenállóképességgel is rendelkezik, mely kiemelt fontosságú tényező a tájdegradációs folyamatok ellensúlyozása esetén (Sandercock et al. 2007; Kleinhans et al. 2018). Az élővíz-folyosók, mint az árterek rendszerébe illeszkedő lineáris elemek, az ökológiai komplex rendszer azonos funkciót ellátó részeit kapcsolják össze (Rádai 1995). Az ökológiai körforgás dinamikája kimagaslónak mutatkozik ezekben a zónákban, amit többek között a klimatikus elemek, a vízgyűjtő geológiai adottságai, a domborzat, elöntések valamint a víztestek által szállított tápanyagok dinamikus kölcsönhatása idéz elő (Ward et al. 2002). A vízi és szárazföldi vegetációval borított tájfoltok heterogén és változatos élőhelyet biztosítanak a halak, vízimadarak és a gerinctelen fajok számára (Zeng et al. 2015). A megtelepedő fás szárú növényzet első tagjai, alkalmazkodva a lokális áramlási viszonyokhoz, hatékonyan képesek stabilizálni helyzetüket, ennek eredményeképpen a további egyedek már védettséget kapnak a később kialakuló lombkoronaszintjük alatt (Robertson 2005; Wintenberger et al. 2015). Az ilyen stabil vegetációs tájfoltok továbbá jelentős mértékű terelő hatást fejtenek ki az áramló víztestekre: a vízsebesség csökken a növényzet által fedett felszín mentén, míg a körülötte elhelyezkedő mederszakaszokban viszont gyorsul. Ez a folyamat határozza meg a fás szárú vegetáció megtelepedésének későbbi helyzetét (Cotton et al. 2006). A középvízi mederből az így (akár csak időszakosan is) kiemelkedő zátonyfelszínnek értékes táplálkozási és fészkelési területet biztosítanak a vízimadarak számára, ráadásul az ehhez hasonló elszigetelt térszínek gyakran mentesek a zavaró emberi tevékenységtől (Zeng et al. 2015; Gurnell et al. 2015).

A meanderező folyók oldalazó (laterális) eróziója jelentős mértékű degradációt okoz a mezőgazdasági művelés alatt álló területeken, továbbá gyakran veszélyezteti az emberlakta vidéket is (Hackney et al. 2015; Konsoer et al. 2017). Európa folyóhálózatának átfogó védelmét főleg a parterózióhoz társuló további súlyos természeti és antropogén jelenségek (árvízi elöntés, erdőirtás) indokolják (Zawiejska

és Wyžga 2010; Hohensinner et al. 2011; Kiss és Blanka 2012). A szabályozások és mederrendezések által érintett folyómedrek mind geomorfológiai, mind ökológiai értelemben véve kisebb a diverzitás a keresztmetszében. Az utóbbi években számos tanulmányban kimutatták, hogy sok esetben a folyóvízi mederrendezés és a partvédelem tehető felelőssé a környező vízgyűjtőkön végbement élőhely- és ökoszisztéma degradációjáért (Nakamura és Yamada 2005; Campana et al. 2014; Habersack et al. 2016). Mindezek mellett azt is kimutatták már, hogy a folyószabályozás káros hatást fejt ki különböző hal- és gerinctelen fajok életminőségére, ugyanis a mederrendezés csökkenti az élőhelyek heterogenitását (Negishi et al. 2002). Habár a közelmúltban számos kutatási eredmény is úgy értékelte, hogy a meder-rehabilitáció, bizonyos esetekben a „re-meandering” rövid vagy közepes időtávon belül egy hatékony megoldás lehet az élőhely-diverzitás növelésére (Kondolf 2006). A laterális erózióval járó medervándorlás káros hatásai mellett biztosítani tudja ugyanis a vegetáció megtelepedéséhez szükséges hordalék-utánpótlást (Palmer et al. 2014); viszont a „re-meandering” hosszútávú ökológiai és geomorfológiai következményeit még nem vizsgálták kellő részletességgel (Clark et al. 2017). Jóllehet, néhány kutatás már képes volt kimutatni a diverzifikáció fejlődésében mutatkozó pozitív irányú trendet, azonban a meder-helyreállítási munkálatok többségében még nem tudtak rövidtávon (a beavatkozást megelőző és az azt követő időszakot átfogó 5-10 éven belül) szignifikáns különbséget felmutatni (Garcia et al. 2012; Jähnig et al. 2010; Palmer et al. 2010).

2.3. A meanderező folyók mederdinamikai elemzésének módszerei

A laterális (oldalazó) erózió a meanderező folyók elmozdulását irányító alapvető folyamat, mely kiterjedésétől és intenzitásától függően súlyos károkat tud okozni a mezőgazdaság művelés alatt álló területeken vagy a lakott területek mentén (Lawler et al. 1997b; Das et al. 2012; Konsoer et al. 2016). A részben szabályozott vagy akár teljes mértékben szabályozatlan meanderező folyók horizontális medermintázata jelentős ütemben (akár több méter/év) képes tovább fejlődni; ezért kulcsfontosságú, hogy a morfológiai változások vizsgálata és kimutatása rendszeresen történjen, az értelmezéshez pedig előzetesen a korábbi mederfejlődési dinamika rekonstrukciója is nagyban hozzájárulhat (Hooke 2008; Miřijovský et al. 2015; Bertalan et al. 2016a). Napjainkban a geoinformatika eszköztára, kiegészítve távérzékelési módszerekkel (Yousefi et al. 2015; Ahmed et al. 2019) és terepi geodéziai mérésekkel gyors és pontos adatgyűjtést és -rendszerezést tesz lehetővé, melyekkel hatékonyan feltárhatók a horizontális mederfejlődés sajátosságai (Clerici et al. 2015; Schwendel et al. 2015; Yousefi et al. 2018). A történeti térképek és a vízügyi tervezések felméréseinek leíratai további értékes forrásokat biztosítanak a múltbéli folyamatok elemzéséhez (Dort 1978; Goudie 1990; Hudson és Kesel 2000; Słowik 2012; Dragičević et al. 2017), azonban a térképi méretarányokban mutatkozó különbségek és a korabeli térképezési eljárások pontatlanságából adódóan a megbízhatóságuk jóval kisebb, továbbá a változások kvantifikációja is kevésbé részletesen lehetséges (Li et al. 2007). A szakirodalomban fellelhető, s a horizontális mederváltozásokat vizsgáló tanulmányok főleg a '40-es évek óta elérhető archív katonai és civil

légifotókon (Michalková et al. 2010; Nicoll és Hickin 2010; Yousefi et al. 2017; Hajdukiewicz és Wyzga 2019); topográfiai térképeken (Sarma et al. 2007; Yao et al. 2013); vagy űrfelvételek elemzésein (Wang et al. 2014, 2016; Yousefi et al. 2016) alapultak. A klasszikus fotogrammetriai eljárások, melyek egy viszonylag gyors módját jelentették a térkép-szerkesztésnek légi és földi fényképek alapján (Pyle et al. 1997; Hughes et al. 2006), a '90-es évek során kezdtek elterjedni.

Fontos megemlíteni, hogy minden egyes folyómeder egy olyan, egyedülálló rendszer, mely egyaránt lokális és globális földrajzi folyamatok egymásra hatásának következtében változatos időbeli és térbeli kapcsoltsági tényezők mellett alakul ki (Cavalli et al. 2013; Poepl és Parsons 2017). Részben ebből is következik, hogy a folyók mederdinamikájának feltárása érdekében végzett kutatások számos bizonytalansággal terhelve (Di Silvio és Nones 2014; Rousseau et al. 2017). A vizsgálat tárgyát képező folyókat éppen ezért érdemes egy olyan egyedi rendszerként kezelni, mely működésének teljeskörű értelmezéséhez a lehető legtöbb rendelkezésre álló vagy előállítandó adatra szükség van különböző térbeli és időbeli léptékekben egyaránt (East et al. 2016; Rusnák et al. 2018; Langat et al. 2019).

Az utóbbi években egyre több tanulmány figyelmeztet arra, hogy hamarosan kezdetét veszi „Antropocén” úgynevezett III. szakasza (Goudie 2018; Downs és Piégay 2019). A kutatók véleménye szerint a fluviális geomorfológiának vezető szerepet kell betöltenie környezetünk, azon belül is az árterek hatékonyabb kezelése érdekében (Pijl et al. 2018; Grill et al. 2019). Kiemelt fontosságú továbbá, hogy a klímaváltozás és a talajerózió kölcsönhatásához kapcsolódó legújabb tudományos elképzeléseket is figyelembe vegyük. Számos kutatási eredmény születik napjainkban is az extrém időjárási körülmények talajerózióra, azon belül is folyók parteróziójára gyakorolt hatásáról különösképpen olyan területeken, ahol kimagasló mértékű az antropogén eredetű tájváltozás (Peña-Angulo et al. 2019; Rodrigo-Comino et al. 2019). Ez a tudományterület jelen disszertációban bemutatott módszerekkel együtt ugyanis számos olyan eszközkészlettel rendelkezik, amelyek lehetővé teszik az ember általi környezetre gyakorolt hatásának a lehető legrészletesebb feltárását (Słowik 2015; Brown et al. 2017).

A tudományos közösség egyértelműen egyetért abban, hogy a folyóvízi helyreállítási munkálatok alapvető fontossággal bírnak az árvízi kockázat csökkentésében (Dixon et al. 2016), azonban a folyók által tágabb értelemben is érintett táj alapos hidrogeográfiai jellemzése nélkül nem valósítható meg hatékony ártéri-, ill. környezetgazdálkodás (Williams et al. 2013). Számos korábbi tanulmány felhívta a figyelmet arra, hogy ehhez a helyi vízügyi igazgatóságoknak és kezelő szervezeteknek részletes és komplex táj- ill. ártérértékelési elemzést kell készíteni (McGrane 2016), amihez a szakmai háttérrel a fluviális geomorfológiai módszerek biztosíthatják (Habersack et al. 2015). A disszertációban alkalmazott módszerek ismeretében megállapítható, hogy egy adott folyó rész-szakaszainak automatizált értékelése nem minden tekintetben elfogadható; azonban a medermorfometriai paraméterek hosszú idősoros adatai lehetővé teszik az ártér lényegesen összetettebb jellemzését.

A folyók mederváltozásának értelmezése szempontjából nagyon fontos, hogy ne kizárólag a recens morfológiai állapot vizsgálata történjen meg, hanem összefüggően

legyen feltárva az ártér és eróziós folyamatok fejlődéstörténete is (Mondal és Patel 2018). Ellenkező esetben egy hibásan megalkotott elméletre alapozott mederrendezés tovább fokozhatja a parteróziós folyamatok intenzitását (Nichols et al. 2018). A disszertációmban alkalmazott módszerek és eredmények véleményem szerint nagymértékben segíthetik az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság munkáját a hatékonyabb környezetgazdálkodási stratégiák megalkotásában a Sajóhoz köthető további tájdegradáció kivédése érdekében.

Sajnos általánosnak tekinthető az a jelenség, hogy az ember rendszerint figyelmen kívül hagyja az antropogén eredetű tevékenységek környezetre gyakorolt káros hatásait, melyek alól a folyóvíz által formált tájak sem képeznek kivételt (Wohl 2018). A hatékonyabb környezetvédelmi helyreállítási célok megfogalmazása csak akkor valósulhat meg, ha ezeket a fizikai és ökológiai értelemben egyedi jelenségeket egy holisztikus nézőpontból vizsgáljuk (Pasternack 2013). Korábbi tanulmányokban kimutatták, hogy azok a folyóvízi környezetben megvalósított helyreállítási munkálatok bizonyultak sikeresebbnek, melyek tervezési fázisába kellő aprólékossággal bevonták a természetes és antropogén eredetű mederfejlődés előzményeit (Morandi et al. 2014; Mondal és Patel 2018). Ehhez kapcsolódóan a disszertációmban alkalmazott módszertan iránymutatásként szolgálhat nem kizárólag a Sajó folyóra vonatkoztatva, de akár más, hasonló jellegű külföldi folyó hatékonyabb vízügyi kezelési gyakorlata szempontjából.

A saját kutatási eredményeim és a szakirodalom szintézise alapján úgy gondolom, hogy a horizontális mederváltozásnak a dolgozatban vázolt térbeli és időbeli keretek közötti vizsgálata és megértése egy nélkülözhetetlen alapeleme azoknak a becsléseknek, melyek célja a kis- és közepes folyók elkövetkezendő 30-50 évben várható mederdinamikájának előrejelzése. Mindezekon kívül úgy vélem, habár a környezetgazdálkodás terén továbbra is szüksége van az ehhez hasonló részletes fluviális geomorfológiai elemzésekre más-más folyórendszerek mentén, azonban a döntéshozók egy bizonyos rétege mindmáig vitatja az esetleges túlfejlett mederszakaszok megőrzését (Thorne et al. 1998; DeVries és Aldrich 2015; James 2015). Az ártérgazdálkodás terén tehát a jövő egyik fő dilemmája az lehet, hogy a gazdálkodók, helyi vízrendezésért felelős szervezetek melyik stratégiát valósítsák meg: mindenáron védjék meg az árteret (Piégay 1998; Morandi et al. 2014; Alber és Piégay 2017), vagy annak egyes részleteit feláldozva kijelöljenek egy ún. "erodálható folyosót" (Piégay et al. 2005; Habersack és Piégay 2007)? Utóbbi esetén szabályozott keretek között valósulhat meg a mederfejlődés, azonban ezzel elkerülhető válnak olyan, a Sajó mentén tapasztalt folyamatok, ahol a korábbi beavatkozásokat követően évekkel később fokozódó parterózió jelent meg.

2.3.1. Geomorfológiai folyamatok vizsgálata pilóta nélküli légi járművekkel

A távérzékelésben használt egyre növekvő számú és egyre szélesebb körű spektrális tulajdonságokkal rendelkező földmegfigyelési műholdak napjainkban már rendkívül rövid visszatérési idővel és kimagaslóan részletes térbeli felbontással rendelkeznek (Belward és Skøien 2015; Wekerle et al. 2017). Ennek ellenére a fluviális geomorfológiai folyamatok és formák valamint a hidrológiai jelenségek

nagy pontosságú monitoringját még továbbra sem teszik lehetővé (McGabe et al. 2017). A légi távérzékelés sokkal inkább alkalmas erre a feladatra, ugyanis a LiDAR-technológiával részletgazdagon térképezhetők a felszínformák, azonban jelenleg ez a technológia még alapvetően költséges (Manfreda et al. 2018).

Az utóbbi 5-10 évben a pilóta nélküli légi járművek (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) illetve a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek (Unmanned Aerial Systems, UAS) olyan elérhető és megfizethető platformokká váltak, ami elősegítette a geomorfológiai célú légitérképezés fejlődését is (Colomina és Molina 2014; Cook 2017; Szabó et al. 2018). Az repülő eszközök, többnyire multirotoros vagy merevszárnyú platformok, által szállított szenzorok között egyaránt megtalálhatók a kisméretű akciókamerák, a tükörreflexes (SLR) vagy tükör nélküli cserélhető objektíves (MILC) fényképezőgépek, a multispektrális valamint termális infrakamerák is (Colomina és Molina 2014; Nex és Remondino 2014).

Az UAV-eszközök fejlődése mellett kiemelt fontosságú az ún. Structure-from-Motion (SfM) algoritmusok megjelenése (Westoby et al. 2012; Fonstad et al. 2013; Nex és Remondino 2014; Woodget et al. 2015; Eltner et al. 2016). Az SfM nagy előnye a hagyományos sztereofotogrammetriai felszínrekonstrukcióval szemben abból adódik, hogy nem szükséges hozzá professzionális, kalibrált mérőkamera, hanem akár egy mobiltelefon beépített kamerája is alkalmas lehet a művelet végrehajtásához (Westoby et al. 2012). Ezen kívül a munkafolyamat egyes részei teljesen automatikusan, fotogrammetriai operátor nélkül futtathatók (Fonstad et al. 2013). Természetesen az SfM-feldolgozás geodéziai pontossága kizárólag akkor hozható a geomorfológiában elfogadott szintre, ha a hagyományos fotogrammetriában ismert elemekkel is kiegészítjük (Kraus 2007; James és Robson 2012). Ilyen elemek lehetnek a lencse torzulásából adódó elrajzolások által generált hibák korrekciója érdekében megadott kamera-kalibrációs adatok (D'Oliere-Oltmanns et al. 2012; Hastedt et al. 2016; James et al. 2017; Manfreda et al. 2019) valamint a modell georeferálása földi illesztőpontok (Ground Control Point – GCP) segítségével (Lejot et al. 2007; Aber et al. 2010; Turner et al. 2012; Tonkin és Midgley 2016).

A munkafolyamat alapvetően négy fő lépésből áll (Eltner et al. 2016):

1. Az algoritmus az egymással átfedő képsorozatokon homológ pontokat keres, majd azonosítja a képpont-képpár kapcsolatokat, végül elvégzi a képek összeláncolását.
2. A képpont-kapcsolatok felhasználásával megtörténik a képek térbeli helyzetének rekonstrukciója, majd ezek alapján a kapcsolópontok 3D koordinátáinak meghatározása iteratív tömbkiegyenlítés alkalmazásával. Létrejön a „ritka pontfelhő”.
3. A képek helyzetének meghatározását követően a modellezés során meghatározott mértékben megtörténik a képek összes képpontjának térbeli rekonstrukciója. Létrejön a „sűrített pontfelhő”.
4. A pontfelhő georeferálása elvégezhető, habár ez akár a 2. lépéssel egyidőben is végrehajtható. A sűrített pontfelhő alapján digitális domborzatmodellek generálása válik lehetővé.

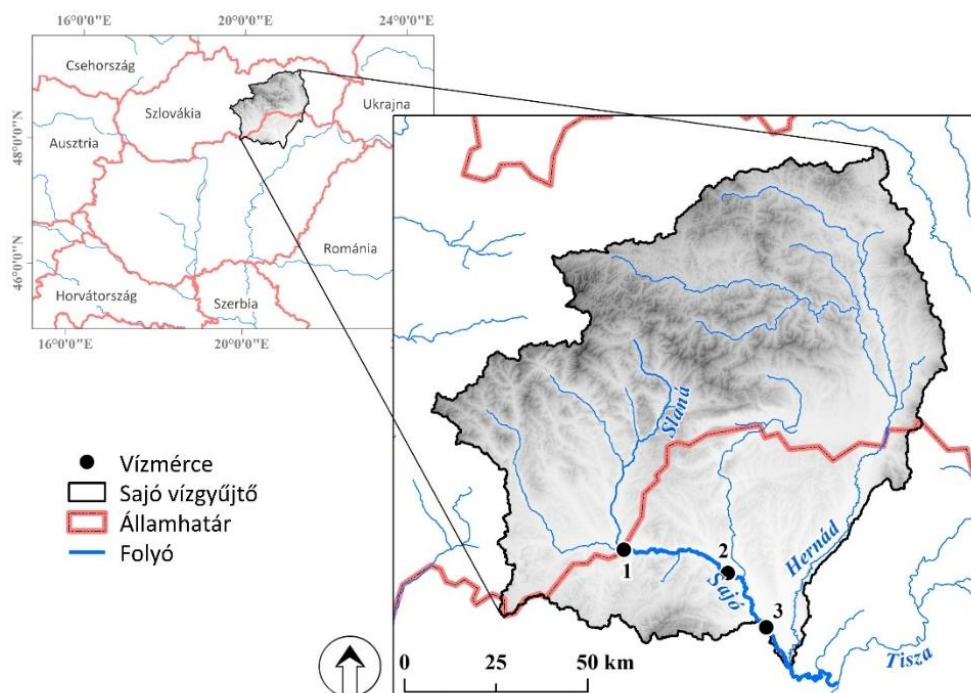
Az SfM-alapú felszínrekonstrukció térbeli is időbeli léptéke az elérhető bemeneti adatoktól függően elég széleskörű lehet. Előbbi esetén a térbeli felbontás a szub-milliméterestől a kilométeres nagyságrendig, míg utóbbi esetén az időbeli lépték a szub-másodpercestől az évtizedes mértékig terjedhet (Eltner et al. 2016; Raparelli és Bajocco 2019). Az UAV légifelvételek alapján történő SfM-modellek által olyan nehezen megközelíthető, dinamikus fejlődő környezetben végbemenő geomorfológiai folyamatok vizsgálata is lehetővé válik, ahol a hagyományos légi fotogrammetriai felmérések megvalósítása nem lenne lehetséges (Balogh és Kiss 2014; Uysal et al. 2015; Nikolakopoulos et al. 2017).

A fluviális geomorfológia területén az elmúlt években olyan folyamatok és formák elemzése során alkalmazták az UAV-SfM modellezést, mint a fonatos medrek avulziója (Javernick et al. 2013); általános ártéri állapotfelmérés (Dietrich 2016); villámárvizeket és extrém áradásokat követő kárfelmérés (Smith et al. 2014; Tamminga et al. 2015); ártéri törmelékkúpok és morénagátak épülése (Micheletti et al. 2014; Westoby et al. 2014); ártéri üledékek akkumulációja (Woodget et al. 2015) valamint a meanderező folyók parteróziója (Prosdocimi et al. 2015; Cox et al. 2018).

3. A Sajó hazai szakaszának bemutatása

3.1. Sajó vízgyűjtőjének általános bemutatása

A Sajó (Szlovákiában Slaná) Kelet-Szlovákia és Északkelet-Magyarország egyik legnagyobb folyója, a Tisza jelentős mellékveze. A folyó teljes hossza 229 km, ebből a magyarországi szakasz 124 km hosszú. A Sajó trapéz alakú vízgyűjtőterülete a Kárpát-medence északi részén helyezkedik el (1. ábra), s a Dunajec, Bodrog, Tisza, Zagyva, Ipoly valamint a Garam folyók vízgyűjtői határolják (Molnár 1972).



1. ábra: Sajó hazai szakasza, még most is működő vízmércék

Habár a Sajó forrásvidéke a Gömör–Szepesi-érchegységben található Stolica-csúcs (1.476 m) mellett van, a vízgyűjtő területének mindössze 4%-a esik 1000 méternél nagyobb tengerszint feletti magasságú zónába.

Az átlagos tengerszint feletti magasság ~400 méter. Kizárólag a Sajó vízgyűjtő területe 5545 km² viszont földrajzi szempontból a Hernád, mint mellékfolyó vízgyűjtőjét (mely csaknem közel azonos kiterjedésű vízgyűjtőt jelent) is hozzá kell venni, így a teljes vízgyűjtő területe 12708 km². A vízgyűjtő 33%-a esik Magyarország területére (1. táblázat) (Molnár 1972).

Ez a vízrendszer gyűjti össze a Vepor-hegység délkeleti, az Alacsony-Tátra keleti tagjainak (Branyiszközi-hegycsoport, Király-hegy), az Eperjes–Tokaji-hegység nyugati-északnyugati, a Bükk északi-északkeleti, a Gömör-Szepesi-érchegység, az Észak-Borsodi-Karszt valamint a Cserehát hegyoldalairól eredő vízfolyásokat (Molnár 1972).

1. táblázat: A Sajó részvízgyűjtőinek területi megoszlása és elhelyezkedése
(VITUKI 1955; Csoma 1972 nyomán)

Folyó	Magyarország		Vízgyűjtő terület Szlovákia		Összesen	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Bódva	862	50	865	50	1 727	13
Hernád	1 013	19	4 423	81	5 436	43
Sajó	2 339	42	3 206	58	5 545	44
<i>Összesen</i>	<i>4 214</i>	<i>33</i>	<i>8 494</i>	<i>67</i>	<i>12 708</i>	<i>100</i>

A 173,6 km hosszú Sajó-völgy szélessége ingadozva növekszik a lefolyás irányában, a magyarországi szakaszán átlagosan 2-7 km kiterjedésű. A völgy összeszűkülése leginkább tektonikai határoknál (Bán-patak torkolata felett) jellemző. A Sajó medrének esése a főbb mellékfolyóinak betorkollásai mentén törésszerűen csökken, a Hernád torkolatig kb. 0,5-0,7 m/km, ezt követően a Tiszai torkolatig folyamatosan csökken (Molnár 1972).

A vízgyűjtő topográfiájára egyaránt jellemző a magasabb hegységi régiók, a meredek völgyek és a síkvidékek váltakozása, bár utóbbi leginkább a magyar határon belül domináns, ahol a folyó már a korábban felhalmozott alluvium felszínén kanyarog (Molnár 1972).

A Sajó mellékfolyóinak listáját vizsgálva megállapítható, hogy a vízgyűjtőterület szlovák szakaszán kizárólag a folyó jobb partján csatlakoznak be mellékvizek (2. táblázat). Mellékfolyói közül a legjelentősebbnek a Bódva és a Hernád tekinthetők (Goda 1965; Molnár 1972; Blanka 2010; Kozma 2015).

2. táblázat: A Sajó mellékfolyóinak részletes adatai (Molnár 1972 nyomán)

Név	Hossz	Közép- vízhozam	Vízgyűjtő terület	Torkolat távolsága	Vízgyűjtő terület a torkolattól		
						Jobb part	Bal part
	km	m ³ /s	km ²	fkm	km ²		
1 Jolsva	48,8	nincs adat	413	156	1 285		SK
2 Turóc	45	nincs adat	370	139	1 782		
3 Rima	90	nincs adat	1 368	126	3 221		
4	Keleméri- patak	15,6	nincs adat	60	120,2	3 290	HU
5 Hangony- patak	30,9	nincs adat	295	119,5	3 590		
6 Bán-patak	23,9	3,2	260	98,9	3 964		
7 Tardona- patak	18,9	nincs adat	47	88,5	4 055		
8	Szuha- patak	30	nincs adat	210	87,7	4 265	
9 Harica	16	nincs adat	86	76,6	4 371		
10	Bódva	110,7	9,0	1 727	71,8	6 118	
11 Szinva	18,5	2,7	159	55,6	6 350		
12	Hernád	282,2	28	5 436	32,1	11 931	
13	Szerencs- Takta	63,8	nincs adat	621	9,6	11 615	

A vízgyűjtőn főbb talajtípusai közé a barna erdőtalajok, csernozjom, rendzina, szürke réti öntéstalajok valamint láptalajok tartoznak (Molnár 1972). A magyarországi Sajó-szakasz alapvetően két kistájra osztható: a Sajó-völgyre, ill. a Sajó-Hernád-síkra. Előbbi esetén a dombvidékek talajtakaróit főleg agyagbemosódásos barna erdőtalajok alkotják, melyek főként a dombvidéki térszínnek löszös üledékein képződtek; míg a déli kitétséggű, enyhébb lejtésű domboldalakon a csernozjom barna erdőtalajok is jelen vannak. Utóbbi kistáj területén a két legnagyobb részarányú (15, ill. 57%) talajtípus azonban a nyers öntés- valamint öntés réti talajok (Rajkai és Tóth 2010).

A terület 4%-án fedetlen karszt is megjelenik, ahol a leginkább karszt-bokor-erdők és gyér legelők a jellemzők. Az erdők között egyaránt jelen vannak a gyertyános-tölgyesek, bükkösök valamint a magasabb régiók északi kitétséggű lejtőin túlevelűek is megtalálhatók (Molnár 1972).

3.2. A Sajó-völgy fejlődéstörténete és geomorfológiai jellemzői

A magyarországi Sajó-völgy és a Sajó-Hernád-sík által közösen elfoglalt területek mederfejlődésének értelmezéséhez feltétlenül ismernünk kell azok fejlődéstörténetét, különös tekintettel a jelenkori vízrajz kialakulását befolyásoló geomorfológiai elemekre.

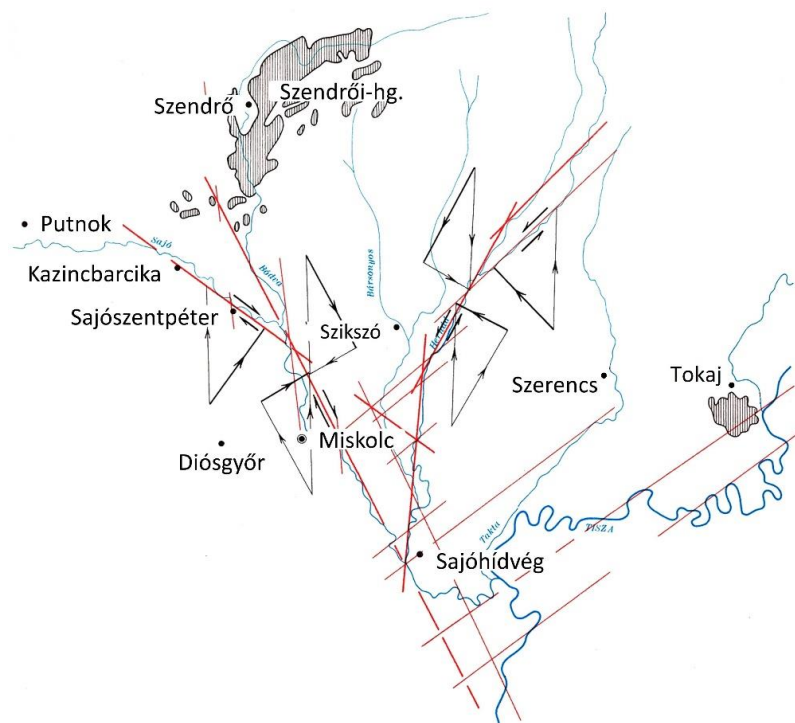
A Sajó-Hernád vízgyűjtő szerkezeti elemeihez a Gömör-Szepesi-érchegységen és az Alacsony Tátrán kívül hozzátartozik még a kárpáti flis öv egy része, a Zempléni-hegység vulkanikus vonulata. A magyarországi Sajó-meder kialakulására azonban alapvető hatással a Bükk-vidék (azon belül is az Upponyi-hegység és a Tardonai-dombság) valamint a Cserehát szerkezeti viszonyai vannak, ugyanis ez a terület rétegtani szempontból változatos képet mutat. A harmadkori, ill. neogén süllyedékek által kialakult medence-dombvidékek választják el a főbb földtani egységeket, míg a Sajó és Hernád a szerkezeti vonalak mentén folynak (2. ábra).

A kisebb folyóvölgyek futása is többnyire tektonikailag preformált eróziós völgyekből eredeztethető (Franyó 1966; Mike 1972).

A Bükk-hegységjelentős mértékű korábbi tektonikai hatás által érintett, vetőkkel szabdaltsággal rendelkező, pikkelyezett, ráadásul egyes részein vulkáni intrúziók is átjárták, majd fiatalabb törések is felszabdalták (Schréter 1935; Bartha és Jambrik 1997; McIntosh 2014).

A Bükk-vidéket tengerelöntés borította a felső karbontól egészen a felső triászig, ennek következtében alakult ki a hidrogeológiai szempontból értékes triász mészkő (Schréter 1935). A fokozatos transzgressziós-regressziós folyamatokat követően a Bükk-vidéket a felső miocénben nagyfokú oldalnyomás érte, a Bükk déli része megsüllyedt, míg az északi térszíneinek intenzív kiemelkedése ment végbe, jelentős mértékű lepusztulással (Schréter 1952). Ennek eredményeképpen jött létre egy, a Bükk északi peremét lezáró, nagy szerkezeti törés, ami kialakította a jelenkori Sajó-mederirányát (Mike 1972).

A szarmata időszakban a Sajó és Hernád közötti térrész vélhetően emelkedésben volt, ugyanis a Bükkalja peremén azonosítható tortonai felszíni vulkáni lánc félbeszakad, majd a Zempléni-hegységben folytatódik (Mike 1991).



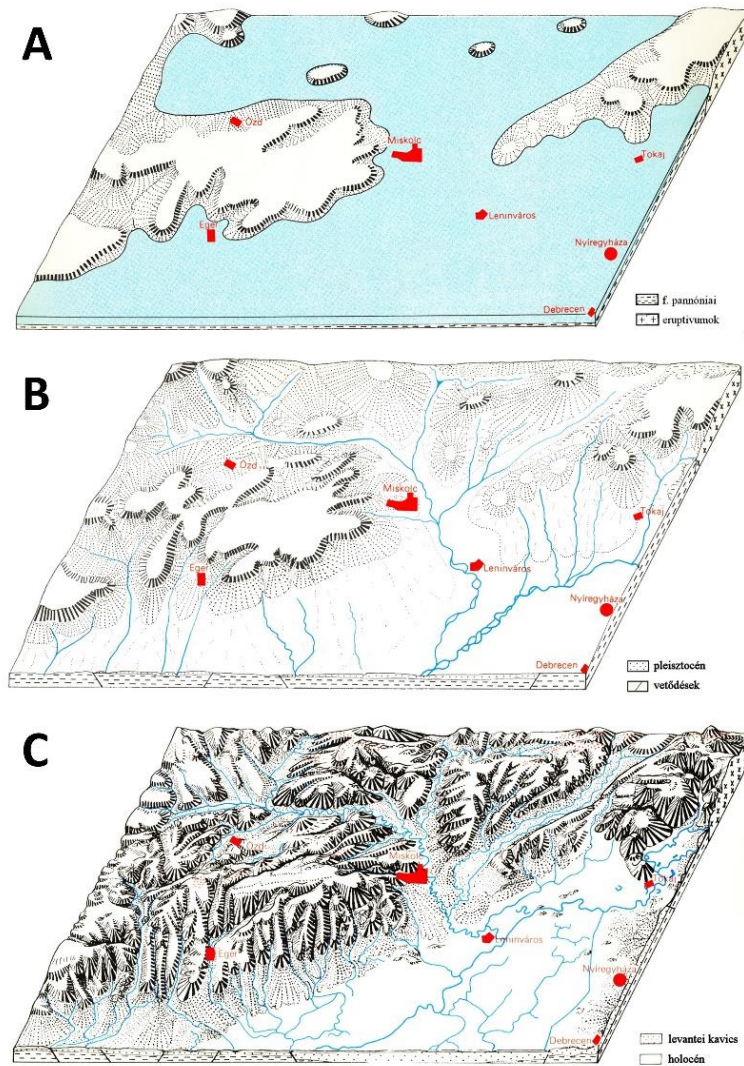
2. ábra: Kéregszerkezeti erők a Sajó-medencében és a Cserehátan (Mike 1972 nyomán)

A bükki vulkáni tevékenység megszűnését követően, a pliocén során a terület emelkedni kezdett (Láng 1944, 1949c; Vadász 1960). Ennek ellenére az akkori Sajó-Hernád medencét a délről előre nyomulva szinte teljesen elöntötte a Pannon-tenger (3/a. ábra), melynek vizéből mindössze félszigetként emelkedtek ki a Bükk- és Zemplén-hegységek felszínei (Mike 1972). A Bükk-fennsíkon feltárt kavicstakaró vizsgálata alapján megállapították, hogy ez a felszín egy alacsony Af. szintből 500-600 méternyire emelkedett (Leél-Őssy 1952).

A kiemelkedést követően a tönkfelszín a törések és vetődések mentén feldarabolódott és megindult a karsztosodás (Leél-Őssy 1954; Pinczés 1960).

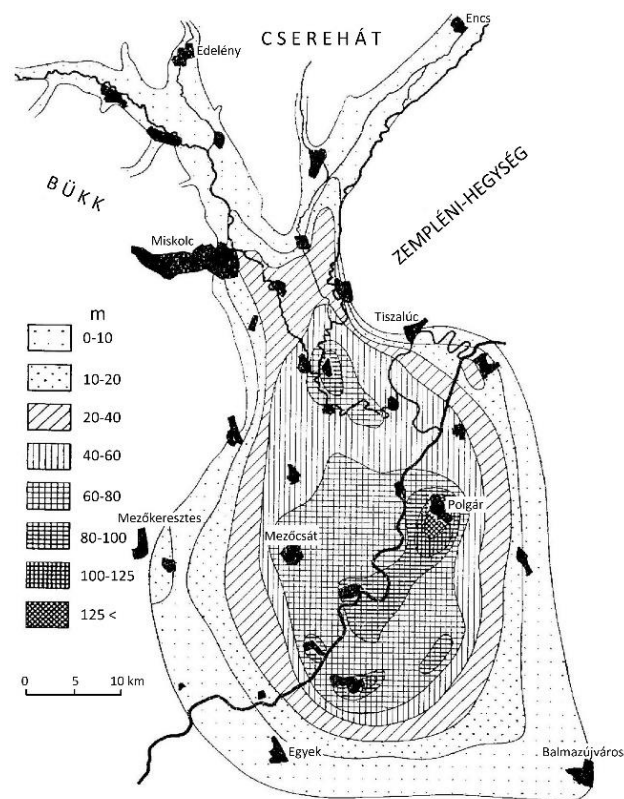
A pleisztocén elején vette kezdetét napjaink Bükk-Cserehát vízrendszerének kialakulása (3/b. ábra), bár akkoriban még leginkább csak egymásba átfolyó tavak alkották a főbb víztesteket (Somogyi 1961). A Sajó-völgy északi futását valamint Aggteleki mészkőfennsíkot egyaránt É-DNy, ÉNy-DK irányultságú rácsos töréshálózat harántolja (Goda 1954; Mike 1972). Ennek eredményeképpen került a nagy mennyiségű karbonátos kőzetanyag a Sajó dél felé szélesedő völgytalpába (Mike 1991).

A pleisztocén során a Tisza fő lefolyási iránya a Kárpátok irányából az Érmelléken keresztül érte el a Körös-medencét majd torkollott a Dunába (Gábris 1995; Gábris és Nádor 2007); míg az akkori Sajó és Hernád medre csak a mai torkolattal kb. 120 kilométernyivel délebbre csatlakozott a Tiszához (Somogyi 1961; Mike 1972).



3. ábra: A Sajó vízhálózata a főbb földtörténeti időszakokban: A) pliocén; B) pleisztocén; C) holocén (Forrás: Mike 1972, 1991 nyomán módosítva)

A Sajó-völgy kezdeti szakaszának pleisztocén emelkedése következtében a Miskolci-kaputól északra a folyó enyhe bevágódásba kezdett (Láng 1944; 1949a), erről árulkodik a később azonosított négy kavicsteraszs is (Láng 1954; Somogyi 1961). A Miskolci-kaputól DDK-re azonban a pleisztocén folyamán erőteljes süllyedés vette kezdetét. A folyamat eredményeképpen jött létre a két folyó által épített alföldi hordalékkúp (Franyó 1966) (4. ábra).



4. ábra: A Sajó-Hernád-hordalékkúp kiterjedése és a kavicsos rétegek összvastagsága méterben (Franyó 1966 nyomán)

Az Alföldön az egyik legrszabályosabb formájú Sajó-Hernád-hordalékkúp napjainkban már eltemetett s felszíne többnyire erodált (Nagy 2002). Méreteit tekintve ÉNy-DK irányban ~60 km, míg erre merőlegesen ~54 km kiterjedésű. Kialakulásának további oka, hogy az Alföld északi peremén valamint a Sajó-völgy törésvonalai ezen a területen találkoznak, ezáltal a negyedkori rétegösszlet hirtelen vastagodása alakult ki. A mintegy zárt hordalékkúp egészen a Hortobágy mélysíkjá alatt éri el a Berettyó-Körösök süllyedékét (Nagy és Félégyházi 2001; Gábris és Nagy 2005). Szerkezeti szempontból legmélyebb területe a Sajó-Tisza torkolatának környékén helyezkedik el. A hordalékkúp felszínén a pleisztocén végére befejeződött, míg a folyóvölgyekben még az óholocén időszakáig tartott a durva üledékek felhalmozódása. Ennek eredményeképpen a Miskolci-kaputól délre a kavicsos üledéken már würm lösz rakódott le (Franyó 1966).

A Tisza lefolyási irányainak 80-100 km nagyságrendű irányváltásait negyedidőszaki tektonikai folyamatok: kiemelkedő, ill. süllyedő medencék (Bodrogköz, Beregi-sík, Érmellék) orográfiai viszonyai irányították (Borsy és Félégyházi 1983; Timár et al. 2005; Kiss et al. 2014); míg egyes tájakat, mint a Nyírség, csekélyebb süllyedési üteme révén relatív kiemelkedésként azonosítottak.

A Bodrogek és a Beregi-sík területének fokozott süllyedése, a felső pleniglaciálisban indult meg nagyjából 22 ezer évvel ezelőtt (Borsy et al. 1989). A Tisza medrének fokozatos keleti irányú elmozdulása a Wechselian glaciális elején kezdődött meg (Borsy et al. 1989), ugyanis a Nyírség hordalékkúpjának emelkedése következtében a Tisza medre vélhetően magasabb helyzetbe került. A Tisza ennek eredményeképp megkezdte a fokozatos eltolódást a központi tengely irányából (Borsy et al. 1989, Borsy 1995). A Tisza medrének észak felé végbement irányváltását, valamint az Érmellék területének elhagyását a Bodrogek, a mai borsodi ártér és a Taktaköz területének intenzív süllyedése valamint a Nyírség hordalékkúpjának és az Érmellék fokozott, relatív kiemelkedése okozta (Borsy et al. 1989; Gábris 2002; Lóki és Félegyházi 2008; Demeter et al. 2010, 2011; Bertalan et al. 2016). Az új Tisza-meder ezt követően megkezdte az Ős-Bodrog vízrendszeréhez tartozó folyók elragadását (Borsy et al. 1969).

Mindezek után a holocénre tehető a Sajó jelenkori vízrajzának kialakulása (3/c. ábra), mely a korábbi tanulmányok alapján kb. 5000 éves lehet (Goda 1954; Erdélyi 1971; Mike 1972, 1991). A Sajó jelenkori medrének recens geomorfológiai képét Mike (1972) az alábbi módon jellemzi: „*A harmadkori kiegyenlített tönkös, medencékkel tagolt domborzat a negyedkori kéregmozgások, valamint a váltakozó pleisztocén klíma-ritmusok összjátékának következtében felszabadult, tagozott, kissé már erodált, völgyhálózatos formaegyüttes*”.

3.3. A Sajó vízgyűjtőjének éghajlata

Az egyes éghajlati elemek vízgyűjtőn belüli térbeli és időbeli váltakozásai alapvetően befolyásolják a folyók vízjárását, ezért feltétlenül szükséges ezek ismerete. A Sajó vízgyűjtő területe a domborzat tagoltsága miatt mérsékelt nedves és mérsékelt száraz éghajlati övezetekbe sorolható. A teljes vízgyűjtő a tartós hóhatár alatt helyezkedik el, így az évi középhőmérséklet +9°C körül mozog (Csoma 1972). A vízgyűjtő déli részén, különösképpen a Sajó-Hernád-sík déli területein ez elérheti a 9,7-9,9°C-ot is (Vitéz et al. 2006; Ambrózi és Konkolyiné Bihari 2010).

A sokévi átlagos csapadékösszegek maximuma a magasabb régiót an eléri a 880 mm-t, míg a magyarországi alluviális térszínnek mentén ez mindössze 560 mm-körül mozog (Ambrózi és Konkolyiné Bihari 2010). Az évi csapadékösszegek 60%-át május és október hónapok között mérték; míg a csapadékértékek maximumai júniusban, minimumai január-februárban észlelhetők (Csoma 1972). Az ariditási index tekintetében a vízgyűjtő magyarországi kistájait 1,1 – 1,3 közötti értékek jellemzik (Ambrózi és Konkolyiné Bihari 2010).

Az uralkodó szélirány tekintetében jelentős térbeli heterogenitást mutat a vízgyűjtő. A magasabb fekvésű szlovák területeken leginkább az EK-i a jellemzőbb (Csoma 1972), ezzel szemben a magyarországi Sajó-völgy területén már sokkal inkább ÉNy-i és DK-i, míg a Sajó-Hernád-síkon É-EK-i szélirányok a gyakoribbak (Ambrózi és Konkolyiné Bihari 2010).

3.4. Mederrendezési munkálatok a Sajó mentén

3.4.1. A Sajó csatornázása

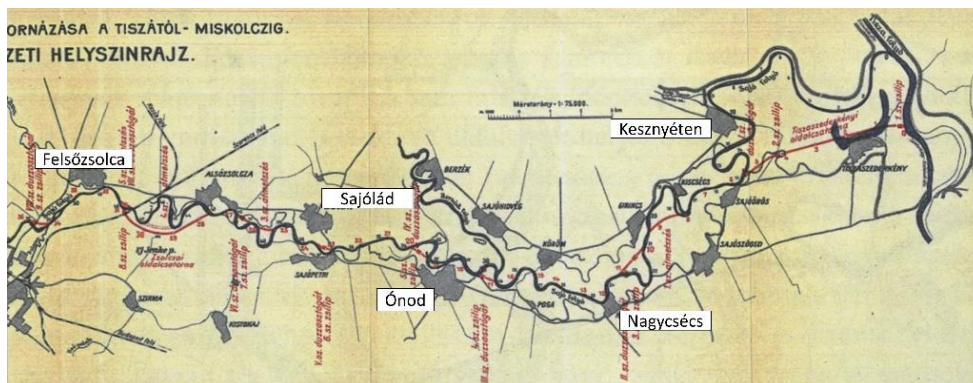
3.4.1.1. Az első tervek

A regionális, ill. állami vízügyi tervezési munkaanyagokban az 1900-as évektől jelentek meg a magyarországi Sajó-szakasz csatornázási elképzelései. Fontos megemlíteni Ladislaus Bartholomaeides lutheránus lelkész „*A természet jóvoltából hajózható Sajó folyóról, amelyet a régiek hajóikkal jártak, és amelyet az egész haza, különösképpen a Tiszán inneni és túli Magyarország, úgymint Borsod, Gömör, Szepes, Liptó, Zólyom és Nógrád vármegyék tetemes hasznára ismét hajózhatóvá kellene tenni*” címmel 1808-ban íródott röpiratát. A tanulmány szerzője már ebben a korban is felismerte a Sajó-mederhez kapcsolódó és kiaknázható lehetőségeket, úgymint a vízi közlekedés kiépítését, a Gömör-Szepesi-érchegységből származó szénnek a borsodi kohászati művekbe (pl. Diósgyőr, Dédes) szállítása céljából. Emellett már akkoriban felvázolta az Alföld és Észak-Magyarország közötti cserekereskedelemre vonatkozó elképzeléseit.

Mindeközben azonban a Tisza-szabályozás munkálatainak elhúzódása miatt hosszú évtizedekig nem valósulhatott meg a vízügyi és geomorfológiai szempontból változatos (esés, tagoltság, kanyarulatfejlettség) Sajó-meder szabályozása (Kákóczki 2016).

A csatornázási munkálatok első hivatalos terveit 1904-1907. között készítette el az Országos Vízépítési Igazgatóság. Akkoriban még a megvalósítandó országos vízügyi projektek között tartották számon a Tisza-Duna-csatornát is. Ez a beruházás lehetővé tette volna az ország más részeiről érkező tömegárúknak (pl. szén, vas), a Tisza közbeiktatásával, az Alföldre, vagy Miskolcon keresztül Kassa és a Felvidék felé történő eljuttatását is (Fekete 1907).

A tervezés során egy olyan, a teljes hazai szakaszra (Tiszai torkolattól Bánrévéig) kiterjedő csatorna-rendszerben gondolkoztak a vízügyi mérnökök, mely „*kétnyomú, 20 m fenékszélességű, 1:1,5 oldallejtőjű és 2 m legkisebb hajóvízmélységű*” (5. ábra, Kákóczki 2016).



5. ábra: A Sajó-csatorna első terveinek átnézeti helyszínrajza (Kákóczki 2016. nyomán)

A Sajó viszonylag alacsony vízállása és esése a nyílt mederrendezésű mederszelvények kialakítását meggátolta, ezért duzzasztóművek alkalmazását tervezték megvalósítani. A magyarországi Sajó-meder korabeli geomorfológiai sajátosságai, vagyis a helyenként kis ívhosszú, rövid húr hosszú kanyarulatok miatt kivitelezhetetlen volt a hosszabb szakaszok hajózhatóvá tétele (Fekete 1907; Jolánkai 1946). A tervek szerint a hajózási útvonalakat a Sajó medre mellett futó oldalcsatornák kialakításával és kanyarulatok átvágásával valósították volna meg (Fekete 1907; Kákóczki 2016). Az összesen 11 db tervezett átvágással 7,6 km-rel rövidült volna le 115,53 km-re a magyarországi Sajó-szakasz. Ezen kívül 17 db duzzasztómű végezte volna vízszint-szabályozását (Fekete 1907). A Sajó jobb partja mentén, Szederkény és Sajókesznyéten között tervezett töltés a hajók vontatását szolgálta volna (Kákóczki 2016).

A kivitelezési munkálatok költségei szempontjából fontos szempont volt, s a tervekben kitértek arra, hogy a már meglévő hidakat ne kelljen átépíteni. Ezekon kívül azonban további 21 hidat szándékoztak létrehozni, míg több szakaszon (pl. Sajónémetinél, Ónodnál és Alsózsoltán) kompok üzemeltek volna (Fekete 1907). A hajó-vontató utakat keresztező oldalvizek levezetése érdekében összesen 12 áteresztő csatorna kialakítását tartották szükségesnek (Kákóczki 2016).

A Sajó csatornázásának összköltségét akkoriban közel kilenc millió koronára becsülték, ugyanis a Hernád medrének csatornázását is megvalósították volna a két folyó torkolatától egészen Hernádnémetiig (Lacay 1973). Az óriási összegek ellenére úgy gondolták, hogy az akkoriban évi 900 ezer tonnányi széntermelés képes lett volna kitermelni a kiadásokat; továbbá 3 ezer lóerőnyi teljesítmény leadására képes vízierőmű kialakításában láttak még járulékos bevételt. A kivitelezéshez kb. 2 millió köbméternyi földmennyiséget kellett volna átmozgatni (Kákóczki 2016).

3.4.1.2. Az első kapavágástól az első leállásig

A csatornázási munkálatok a Földművelésügyi Minisztérium jóvoltából, az 1908. évi XLIX. törvénycikkben taglalt költségvetés alapján, valamint az Országos Vízépítési Igazgatóság irányítása mellett 1910 őszén kezdődtek meg. Az első megvalósítási munkának viszont csak a Tiszaszederkény-Miskolc közötti szakaszt engedélyezték (Kvassay 1912; Dieter 1915).

A kivitelezés megvalósítását azonban több dolog is hátráltatta. Eleinte a kedvezőtlenre forduló őszi, majd téli időjárás megnehezítette a redukáló tachiméterrel végzett térképezést (Kákóczki 2016). A komolyabb fennakadásokat viszont az okozta, hogy a Fekete Zsigmond-féle 1907-es tervekhez képest a Sajó Ónod és Miskolc közötti szakaszán, az intenzív parterózió hatására megváltozott meder további térképezési munkálatokat vont maga után a kataszteri térképek aktualizálásához (Benedek 1913). Végül a Sajócsatornázási Magyar Királyi Kirendeltség a talajfúrásokkal, víztömeg-, ill. hordalékmérésekkel kiegészített új csatornázási terveket 1913 decemberére alkotta meg. Az újonnan feltárt eredmények alapján kiderült, hogy a szükséges hajózható vízmélység fenntartásához a korábbi tervekkel ellentétben 6 vízlépcső helyett 11-et kellene megépíteni (Dieter 1915). A módosítandó Sajó meder mellett egy új, 5,5 km hosszú oldalcsatornában tervezték a hajóforgalmat lebonyolítani, ehhez olyan mederre volt szükség, ami „60 m hosszú;

8,2 m széles, 180 cm merülésű, 600-650 tonna teherbírású uszályok forgalmához elegendő” (Kákóczki 2016). Jóllehet a jég gyors levonulása is kulcskérdés volt, azonban geomorfológiai szempontból további lényeges érv volt, hogy a Sajó kanyarulatainak átmetszését csak a feltétlenül szükséges szakaszokon valósítsák meg, hogy a folyó esése ne változzon jelentős mértékben (Benedek 1913; Németh 1938). Az új tervezet költségvetése már elérte a 12 millió koronát. A mai Tiszaújváros határában, akkori nevén Tizzaszederkény mellett kezdődtek meg a földmunkák, azonban alig fél évvel később az I. világháború miatt a munka részben félbeszakadt (Dieter 1915). Az 1914-es mozgósítási parancs pedig a munkálatok teljes leállítását eredményezte. Nemsokkal később a folytatáshoz 5 ezer orosz hadifoglyot is bevetettek, bár az egészségi állapotuk csak egy rövid ideig tette lehetővé a munkavégzésüket (Németh 1938; Kákóczki 2016).

3.4.1.3. *Árvízi katasztrófák és munkálatok a két világháború között*

Az I. világháborút követően a Kormány csak a leginkább indokolt beruházásokat támogatta, a Sajócsatornázási Magyar Királyi Kirendeltség 1920-ban feloszlott (Kákóczki 2016). Az Országgyűlés ezt követően 1927-ben már elkülönített némi forrást a fokozódó árvízkárok miatt, de végül a kivitelezés elmaradt (Felsőházi Irományok, 1927).

Az 1930-as években azonban több okból is újra napirendre került a Sajó csatornázása és ármentesítése. Az 1935-40 közötti időszakban a tavaszi árhullámok rendre pusztítást végeztek a mezőgazdasági művelés alatt álló vidékeken (Siklósi 1941; Tavy 1941). Az észak-magyarországi vízi utak fejlesztése kapcsán alapvetően befolyásolták a törvényhozókat a Horthy-korszak revíziós törekvései is. A kormányzó minden kétséget kizáróan bízott a Felvidék egyes területeinek, kiváltképpen az ércbányászat szempontjából fontos Gömör-Szepesi-érchegység visszacsatolásában (Kákóczki 2016). Geomorfológiai szempontból továbbá az is sürgette a beavatkozást, hogy a Tisza medrébe vezetett Sajó meder-esése lecsökkent, így a hordalékát Tizzaszederkény-Tiszapalkonya közelében rakta le. A folyamat eredményeképpen létrejött zátonyok és homokpadok pontosan a munka első állomásaként megépítendő szakaszon hátráltatták volna a hajóforgalmat, ezért sürgőssé vált a mederrendezés (Németh 1938, Kákóczki 2016). Ezen kívül az Alföld irányába megvalósítandó hajózást az ezidőtájt fellendülő szántóföldi művelés is indokolta. A hatékony földművelésnek nagyobb szerves trágya-igénye van, ez pedig maga után vonja az állattartás volumenének fokozását. A környéken termelt takarmányt korábban tüzelőként hasznosították, ezt tervezték kiváltani a Borsodi-szénmedencéből érkező, olcsó fával és szénrel. Ennek szállítása a szintén olcsó vízi közlekedéssel valósult volna meg (Kákóczki 2016). A hajózási útvonalak kiépítését végül még az is ösztönözte, hogy a Sajó-Hernád hordalékkúpjának északi peremén értékes kavicsbányák létesültek (Szlabóczky 2002). Az innen kitermelt anyag lehetővé tette volna az Alföld öntözés alá vont területein az utak szilárd burkolatainak kialakítását (Kákóczki 2016).

Az Országgyűlés 1939-ben hagyta jóvá ismét a csatornázási munkálatok folytatását (Felsőházi Irományok 1939), a tervezéssel az újonnan szerveződő Sajócsatornázási Kirendeltséget bízták meg (Berendy 1944). A legújabb tervek

szerint a Sajó oldalcsatornáját árvízmentes területeken, Tiszapalkonyától Nagycsécsig vezették volna. A földmunkák 1943 júniusában kezdődtek, Horthy Miklós ünnepélyes kapavágásával, de 1944-ben a háborús események miatt az építkezést beszüntették (Kákóczki 2016). Az '50-es évek végén bekövetkező új politikai irányvonal azonban sokkal inkább az iparosításban látta a gazdaság fellendülését, így az első ötéves terv életbelépése miatt a munkát félbeszakították, a felügyeletet az Országos Vízgazdálkodási Hivatal vette át (Szilágyi 2010; Kákóczki 2016).

3.4.1.4. Csatornázás és szabályozás az iparosítás időszakában

Az első ötéves tervben (1950-1954) foglaltak teljesítésével kapcsolatban kiderült, hogy a villamosenergia-termelés előirányzott rátáit képtelenség biztosítani. Ekkor döntött úgy az Országos Tervhivatal, hogy megépíti a tiszapalkonyai (majd ennek bővítéseként két évtizeddel később a leninvárosi) hőerőműveket (Egri 1967; Olasz 1990). A Sajó-csatorna pedig alkalmas lett volna arra, hogy a borsodi szénbányákból olcsón szállítsák az erőmű fűtőanyagát (Kákóczki 2016), továbbá vízierőművek létesítésével termeljen elektromos áramot (Vitális 1952), így 1952-től kezdődően több vázlattevé és tanulmány készült a Sajó csatornázására és ármentesítésére vonatkozóan (VIZITERV 1958, 1960, 1962a,b).

A harmadik ötéves terv időszakában (1961-1965) tovább fejlesztették a borsodi nehézipart, ekkor emelték kétszeresére a termelési kapacitását a Borsodi Vegyi Kombinátnak (a mai BorsodChem) valamint indították meg a Berentei Vegyiműveket, valamint a Tiszavidéki Vegyi Kombinát (TVK) egységeit. Az ekkora nagy volumenű termelést azonban kizárólag szovjet importból származó nyersanyagokkal lehetett volna megvalósítani, ezért ismét aktuálissá vált a Sajó csatornázásának folytatása (VIZITERV 1961). A legújabb tervekben már „Sajóvölgyi-csatorna” néven Berentéig készült volna el a kivitelezés (Kákóczki 2016), de megvalósíthatónak tartották a víziút kiterjesztését a Tiszán keresztül egészen Záhonyig (OMFB 1963). A munkálatokra készített ötféle tervezet költségvetései 800 millió és 1,5 milliár Ft között mozogtak (Kákóczki 2016).

3.4.1.5. Utolsó próbálkozások, borsodi nehézipar összeomlása

A hatvanas évek közepétől folyamatosan hanyatlottak a Sajó csatornázásának megvalósítási törekvései. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság egyre többször vizsgálta felül a Sajó csatornázásának kivitelezési koncepciókat, 1973-re kétszer is átdolgozták, s egyre inkább visszafokozták őket egynyomú hajócsatorna típusúra (VIZITERV 1967, 1973). Nehezítette a helyzetet, hogy a korabeli geológiai és geomorfológiai tanulmányok szerzői olyan problémákra világítottak rá (a Sajóvölgyi kavics-mezők vízháztartásának megbomlása, az ipari eredetű szennyezettség hatásai az öntözésre és az ivóvízkészletre, stb.), melyek alapján a Sajó csatornázásának megvalósítása nem bizonyult gazdaságosnak és fenntarthatónak (Lesenyei 1952; Láng 1954; Hock 1958; Ihrig 1967; OVH 1981).

Az 1980-as évektől kezdve végleg megpecsételődött a Sajó-csatornázás sorsa, ugyanis a szénbányászat összeomlott, miközben országosan nőtt az infláció, ráadásul

az államháztartás eladósodott. Ilyen körülmények között, az akkorra már több milliárd forintra bővült költségvetés semmilyen tekintetben sem maradt indokolható, így a közel nyolc évtizeden át tartó törekvés végleg lezárult (Kákóczki 2016).

3.4.2. Árvízmentesítési munkálatok a Sajó hazai szakaszán

A Sajó hazai szakaszának túlfellett kanyarulatai valamint az árvízkárok miatt az első szabályozási törekvések a 18. században indultak meg. Konkrét mederrendezéshez kapcsolódó térképezési munkálatok 1763-ban történtek a mai Szirma és Kistokaj közötti szakaszon, ahol a Sajó és a Hejő rendszeres elöntései okoztak jelentős károkat (Schwendtner és Román 1967).

Az I. és II. világháború során az előző fejezetben tárgyalt csatornázási munkálatok mellett összefüggő szabályozási tervek nem készültek, a félkész tervek egy része a II. világháború során megsemmisült (Berendy 1947). Ezt követően összefüggő hidrográfiai felmérés 1971-ben készült a Sajóról (Laczay 1972).

Az átfogó szabályozási elképzelések hiánya ellenére több szakaszon kezdődtek meg ármentesítési munkálatok a 20. század elején. Az 1926. évi súlyos árvizet követően az országhatártól kezdve, folyásiránynak megfelelően indult meg a mederrendezés. Az 1930 és 1934 közötti időszakban épült meg Bánréve és Dubicsány között több részletben, összesen 17 km hosszú árvízvédelmi töltés. Ezt követte a Kazincbarcika-Berente települések határában létesült ipari körzet védelme érdekében, a Sajó balpartjára épített töltésrendszer (Sajókaza és Sajószentpéter között) kialakítása. Mindezek után bevédésre kerültek a Miskolc-Szirmabesenyő valamint a Girincs-Köröm közötti szakaszok is (Laczay 1972). A töltések mellett helyenként középvízi szabályozási művek is kialakításra kerültek. Ezeket főként az egyes Sajó-menti hidak, vasutak, közutak biztosítása céljából létesítették, leginkább a fejlettebb kanyarulatok homorú ívének partbiztosításaival. Az 1971-es hidrográfiai áttekintés már problémaként említi, hogy ezek a műtárgyak egységes koncepció hiányában épültek meg, ráadásul az esetek többségében nem követik a kanyarulatok ritmusát. Ennek eredményeképpen a Sajó eróziós intenzitása több szakaszon is megbontotta, sőt helyenként el is pusztította őket (Laczay 1972).

A 3.1.4.3. fejezetben említésre került, hogy 1930. után egy új szabályozási terv készült el a Sajó Bánréve és Ónod közötti szakaszára. Egy későbbi szakértői tanulmány azonban megállapította, hogy alábecsülték a nagyvízi vízhozam mértékét, az újonnan építendő hidak nyílásai akadályozzák az árhullámok levonulását (Csoma 1969b). Szintén az 1930-as évek során módosították a Bódva torkolatát is, átmetéssel helyezték át torkolatát a mai helyzetére (Felsőzsolcától Boldva határába), míg a régi medre Kis-Sajó néven továbbra is élő folyóként fennmaradt (Laczay 1972).

A Sajó 1959-ben elkészült általános ármentesítési és szabályozási terv Miskolc és Bánréve között vázolta fel a megvalósítandó mederrendezéseket (VIZITERV, 1959). A kivitelezés során lényegében egy olyan, új meder-rajzolat megvalósítását irányozták elő, mely kis görbületi sugárral, de nagyobb ívhosszal rendelkező kanyarulatokból épült volna fel. A tervben kihangsúlyozták, hogy a Sajó medrének rövidítése, ezáltal a kanyarulatok ritmusának kimozdítása, a környező folyókhoz képest nagyobb esés miatt feltétlenül elkerülendő. Ellenkező esetben nagymértékben

fokozódhat a parterózió mértéke, ami maga után vonná a folyamatos karbantartási munkálatokat az érintett kanyarulatok homorú íve mentén (Csoma 1969a).

3.4.3. Beavatkozások a Sajó szlovák szakaszán

A Sajó medrének szlovák szakaszán a hazai mederrendezésekhez képest is csekély mértékű vízügyi beavatkozások történtek. A Sajóvölgyi ércbányák áramellátásának biztosítása érdekében Vlachovo (Oláhpatak) és Nizna Slaná (Alsósajó) területén már 1909-ben vízerőműveket létesítettek. Ezt követően 1935-ben néhány kisebb település védelme érdekében történtek kanyarulat-átmetszések. A következő ütemben, 1960-1963 között az országhatártól visszafelé közel 28 km hosszú árvízvédelmi töltés épült. Az utolsó dokumentált mederrendezés ismét a szlovák-magyar határvidéken történt 1973-ban (Várnainé Pongrácz 1984).

3.4.4. A Sajó hidrográfiája és mederdinamikája a vízügyi leírások alapján

Magyarországon az Alföld alluviális jellegű folyóival kapcsolatban számos morfológiai megközelítésű tanulmány született az utóbbi évtizedekben (Laczay 1977; Timár 2003; Kiss et al. 2008, 2009; Mecser et al. 2009; Babák 2010; Zámolyi et al. 2010; Blanka és Kiss 2011; Kalmár és Kozma 2012; Kiss és Blanka 2012), ennek ellenére a Sajóval kapcsolatban nem íródott ilyen.

A Sajó Magyarországon középszakasz jellegű, az átlagos kanyarulat-fejlettségi viszonyokat tekintve a közepes fejlettségű meanderező ($S=1,78$) típusba sorolható, a folyó átlagos vízhozama $24 \text{ m}^3/\text{s}$. A teljes szállított hordalék mennyisége $828,000 \text{ m}^3/\text{év}$ és $1,927,000 \text{ m}^3/\text{év}$ nagyságrend között ingadozik az alsó és felső szakaszokat tekintve (Bogárdi 1949, 1956a, 1956b). A fenékhordalék mennyisége a felsőbb szakaszon $1.600 \text{ m}^3/\text{év}$, míg az alsóbb szakaszokra már csak mindössze $290 \text{ m}^3/\text{év}$ jut (Bogárdi 1950).

A folyó átlagos középvízszintje 216 cm körül mozog, amely $24,3 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozamnak felel meg, a Sajópüspöki vízmérce hosszú távú idősoros (1950-2016) adatai alapján. A valaha mért legkisebb vízállás (LKV) szintje 13 cm (1993.08.21), míg a legmagasabb (LNV) esetén ez elérte az 416 cm -t (2010.06.05). A vízhozam esetén a legkisebb értéket 1952-ben mérték ($0,75 \text{ m}^3/\text{s}$), azonban az LNV-hez hasonlóan a vízhozamok maximuma is 2010-ben jelentkezett ($498 \text{ m}^3/\text{s}$). A legjelentősebb mellékfolyók Magyarország területén csatlakoznak a folyóhoz (2. táblázat). A Sajó Bagnold-formula (1977) alapján meghatározott fajlagos munkavégző képessége $1,29 \text{ W}/\text{m}^2$ a Sajópüspöki vízmérce adatai alapján, míg a Felsőszolca vízmérce esetén ez már $1,48 \text{ W}/\text{m}^2$ értéket mutat.

A VITUKI által koordinált 1971. évi részletes felmérés alapján a Sajó hazai szakaszát a mederdinamikai paraméterek alapján öt fő szakaszra bontották (Csoma 1963; Károlyi 1964; Laczay 1972):

1. Bánrévétől Vadnáig – ármentesítési munkálatok miatt jelentősen módosított szakasz;
2. Vadnától Sajóecsegig (Bódva-torkolat) – ármentesítetlen szakasz, a meder beágyazott, erősen kanyarog;

3. Sajóecsegtől Felsőzsolcáig – részben ármentesítetlen szakasz, elnyújtott kanyarulatokkal;
4. Felsőzsolcától Ónodig (Hernád-torkolat) – ármentesítetlen szakasz, intenzív parterózióval;
5. Ónodtól a Tiszai torkolatig – alsószakasz jellegű, nagy ívhosszú kanyarulatokkal rendelkező szakasz.

A részzszakaszolás mellett megszerkesztették a legfontosabb medermorfometriai mutatókat (ív hossz, húr hossz, amplitúdó, görbületi sugár), azonban véleményem szerint ez az elemzés több szempontból sem tekinthető megfelelőnek. Egyrészt a morfometriai mutatók végső összesítését 5 kilométeres szakaszonként átlagolva vették figyelembe a mederdinamika leírásához. Ez a szakaszolás azonban vélhetően elfedi az olyan valós medermorfológiai sajátosságokat, melyek azonosítása több egymást követő, eltérő méretű kanyarulat elemzésével lehetséges (Hooke 2007, 2008). Másrészt az elemzésben a szerzők nem tettek különbséget a természetes és a szabályozott vagy partbiztosítással bevédett kanyarulatok között. Ez viszont alapvetően egy hiányosságokkal terhelt mederdinamikai áttekintést tett lehetővé. A morfometriai mutatók eredményei között vélhetően kisebb ívhossz és görbületi sugár értékek szerepelhetnek a szabályozott szakaszok mentén. Az ilyen jellegű áttekintés során ráadásul nem lehet felmérni a szabályozások medermorfológia folyásirányban bekövetkező hatásait, úgy, mint a zátonyképződést, fokozódó parteróziót (Piégay et al. 1998; Surian 1999; Kiss 2015).

A Sajó hazai szakaszára vonatkozó jelenkori áttekintéseket az EU Víz Keretirányelv által előírányozott munkálatok tették lehetővé. Ennek keretei belül készült el 2010-ben az Országos Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT), majd 2015-ben a Második Országos Vízyűjtő-gazdálkodási Terv, vagy másnéven az első felülvizsgálata (VGT2). A dokumentumokban a Sajó hazai szakaszának jellemzése is megtörtént (ÉMVIZIG-VGT 2010; ÉMVIZIG-VGT2 2015).

A 2010-es VGT-ben megemlítésre került, hogy a hazai mederszakasz aktuális futása a 3.4.2. fejezetben tárgyalt, 1960-1980 között megvalósított mederrendezési munkálatok során került kialakításra. A két évtized alatt két keresztirányú fenékgát létesült (Berente, Miskolc). A fenékgát viszont a mőtárgy közelében módosítja a folyó sebességét, vízjárását, sőt a hordalékszállítást is (Brierley és Fryirs 2008; Charlton 2008). A VGT egyértelmű problémaként jelölte meg, hogy az árvízvédelmi beavatkozások helyenként ugyan lerövidítették a medret és növelték a folyó sebességét, azonban ez mégis további káros hatásokat eredményezett a mederdinamikában. Ennek ellenére, a VGT-ben megjelölt felszíni vizek monitoringja témakörben megvalósítandó elemzések leginkább az ökológiai szempontú megfigyelések szempontjából lett előírányozva (ÉMVIZIG-VGT 2010).

A 2015-ös VGT2-ben egyértelművé vált, hogy a VGT-ben vállalt célkitűzések megvalósítása nem volt lehetséges. A 2010-es Sajó-menti rekord árvizek jelentős többletköltségeket hoztak, valamint rávilágítottak olyan problémákra, melyek megoldása egy új, alaposabb tervezési folyamatot igényel (Kiss 2014; Kiss és Bekő 2015). A VGT2 megvalósítását 2021-re, ill. indokolt esetben 2027-re tervezik halasztani (ÉMVIZIG-VGT2 2015).

4. Anyag és módszer

4.1. Felhasznált adatok a Sajó hosszútávú mederdinamikai változásának elemzéséhez

Az általam végzett kutatómunka egy közel 60 éves időszakot lefedő térbeli-időbeli vizsgálaton alapszik, mely archív katonai légifotókon (1952, 1956, 1975, 1988), topográfiai térképszelvényeken (1980) valamint digitális ortofotók (2000, 2005, 2011) elemzését foglalja magába (3. táblázat). Az archív fekete-fehér katonai légifotók kontaktmásolatait a Hadtörténeti Múzeum és Térképtár, Hadtörténeti Térképtárából kölcsönöztem. A feldolgozás kezdetén 600 dpi felbontásban valamint A3 ill. A4 méretekben digitalizáltam. A Sajó teljes hazai szakaszára vonatkozó adatbázis 992 db légifotót jelentett, melynek rendszerezéséhez a Gauss-Krüger 1:25.000 szelvényhálózat beosztását használtam. Az általam vizsgált időszakok kijelölését egyértelműen meghatározta a rendelkezésre álló légifotók területi kiterjedése. A légifotók rendszerezését követően mindössze az általam vizsgált négy időszakban volt elérhető annyi felvétel, mely teljes egészében lefedte a Sajó magyarországi szakaszát. Az általam felhasznált légifotók és térképek méretaránya 1:7.000 és 1:12.000 között változott. A szkennelést követően kiválogattam az elemzésekre alkalmas légifotókat, ugyanis némelyek minősége nagy felbontású digitális képként sem felelt meg későbbi vizsgálataimhoz. Ezen felül ki kellett szűrni azokat a légifotókat is, ahol a felvétel árvizes időszakban készült, ekkor ugyanis nem a medermorfometriai vizsgálathoz szükséges középvízi medret tudtam volna azonosítani a képeken, ezáltal pedig félrevezető eredményeket produkált volna az elemzés.

3. táblázat: A vizsgálat során felhasznált légifotók és térképek adatai

Év	Képek száma	Típus	Méretarány	Felbontás (m)	RMSE (m)	Forrás
1952	22	Fekete-fehér légifotó	1:7.000	0,5	2,7	Hadtörténeti Térképtár
1956	18	Fekete-fehér légifotó	1:7.000	0,5	3,9	Hadtörténeti Térképtár
1975	15	Fekete-fehér légifotó	1:12.000	0,5	2,2	Hadtörténeti Térképtár
1980		Topográfiai térkép	1:10.000	-	Referencia térkép	FÖMI
1988	7	Fekete-fehér légifotó	1:12.000	0,5	2,8	Hadtörténeti Térképtár
2000	22	Ortofotó	1:10.000	0,5	-	FÖMI
2005	22	Ortofotó	1:10.000	0,5	-	FÖMI
2011	22	Ortofotó	1:10.000	0,4	-	FÖMI

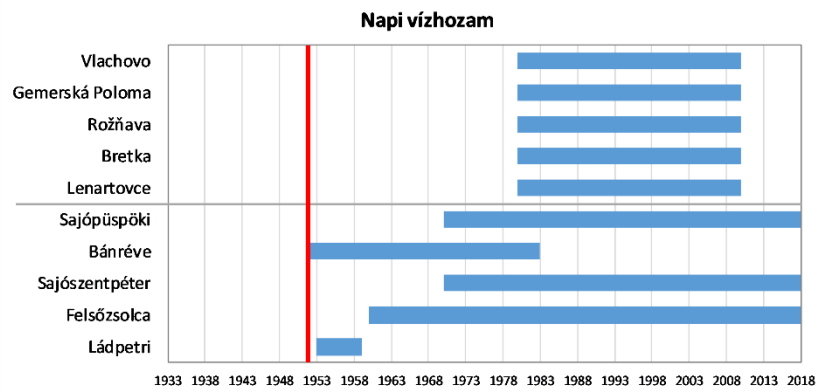
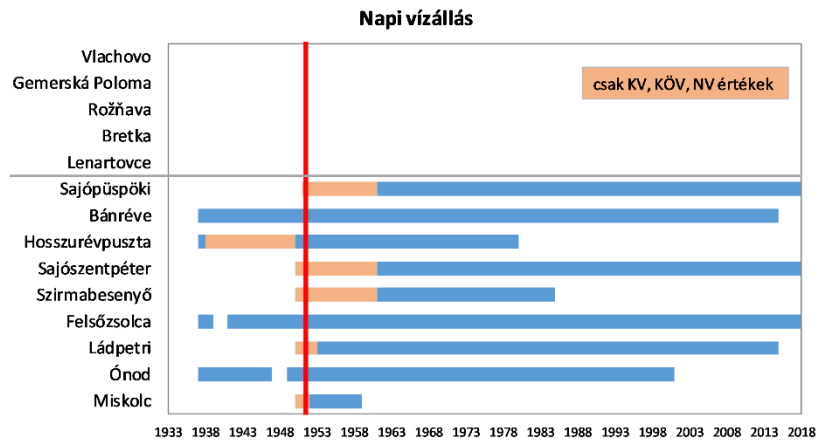
Az archív fekete-fehér légifotók ortorektifikációját ERDAS Imagine 8.5 szoftverben végeztem. Referenciaként kezdetben a 2011-es ortofotót használtam, azonban azt tapasztaltam, hogy az 1950-es és 80-as éveket ábrázoló képeken sok esetben nem volt lehetséges az illesztőpontok kijelöléséhez szükséges tereptárgyak azonosítása a területen végbement változások miatt. Az ortorektifikációs feldolgozás

során vetületi rendszerként az Egységes Országos Vetületi Rendszert (HD72/EOV) használtam. A magassági torzítás kiegyenlítéséhez az domborzatmodell esetében egy SRTM-kivágat volt. Légifotónként 15-20 db földi illesztőpontot (Ground Control Point, GCP) azonosítottam a kellő pontosságú georeferencia biztosítása érdekében (Hughes et al. 2006; Prajwal et al. 2016). A rektifikációs folyamat négyzetes középhibájának (Root Mean Square Error, RMSE) értékei kivétel nélkül minden légifotó esetén 3,4 méter és 6,7 méter között mozogtak, míg az átlagos RMSE 4,8 méter volt, ez pedig hasonló eredményt mutat más szerzők hasonló jellegű vizsgálatain esetén (Michalková et al. 2010; Zawiejska and Wyzga 2010; Rusnák et al. 2016). A középvízi mederélek vektorizálása manuális, monitoron történő digitalizálással történt 1:1000 rögzített méretarány mellett. Más tanulmányokban kimutatták, hogy a nem megfelelően megválasztott léptékben végzett vektorizálás esetén jelentős hibák terhelhetik a mederélek térbeli helyzetét az adatbázisban (Bakó 2011; Liro 2015b; Donovan et al. 2019). A mederélek digitalizációja során figyelembe kellett venni, hogy a partmenti vegetáció bizonyos esetekben kitakarta a partfalat, ezért ott csak kellő közelítéssel volt lehetőség meder azonosítására. A teljes vektorizáció ArcGIS 10.3 szoftverben készült.

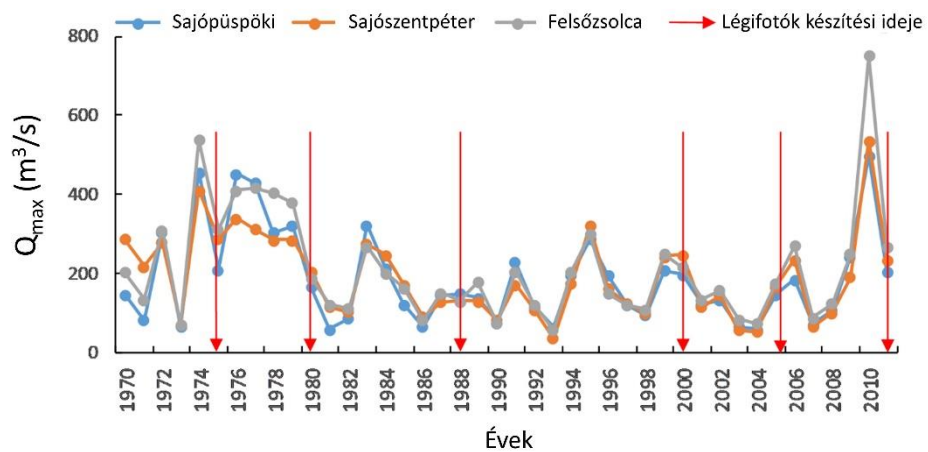
4.2. Hidrológiai adatelemzés

A Sajóra vonatkozó napi vízállás és vízhozam adatokat az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóságtól digitális formában kaptam meg az 1970-es évektől kezdődően (6. ábra), a hiányzó adatokat a Vízrajzi Évkönyvek köteteiből gyűjtöttem ki. A Sajó szlovákiai szakaszára vonatkozó adatokat a Szlovák Hidrometeorológiai Intézet (Pozsony) bocsátotta rendelkezésemre, azonban ezek mindössze az 1980-2010 időszakra vonatkoztak és kizárólag vízhozamértékek voltak. Az azt megelőző évek többnyire adathiányosak és csak szintén papír alapú évkönyvekből kigyűjthető, amire a kutatás megkezdéséig nem volt lehetőségünk.

A Sajó magyarországi mederszakasza mentén található vízmérce-állomások működése időben eléggé változatosan alakult, számos korábban még üzemelő vízmércét felszámoltak, miközben újakat is létesítettek. Jelenleg mindössze három aktívan üzemelő vízmérce-állomás adatai elérhetők, melyek napi szintű vízállás és vízhozam adatok szolgáltatnak: Sajópüspöki (123,5 fkm), Sajószentpéter (121,8 fkm) és Felsőzsolca (49,4 fkm). Vízállás-adatok tekintetében az egyik legrégebb óta üzemelt bánrévei, majd a ládpetri vízmérce működését 2015-ben állították le. Hosszúrévpuszta, Szirmabesenyő és Ónod esetében a leállítás a 1980 és 2000 között következett be, míg a Miskolci vízállás-mérés mindössze öt éven át működött 1952 és 1957 között. A vízhozam-mérések Felsőzsolcán 1960-ban, míg Sajópüspöki és Sajószentpéter esetén 1970-ben kezdődtek meg, valamint a Sajó-Hernád torkolat mentén 2019-ben létesítették a legújabb vízmércét. A medermorfológiában végbemenő változások értelmezése szempontjából fontos volt, hogy megvizsgáljam a hidrológiai adatok időbeli változékonyságát abban az időszakban, amelyiket lefed a légifotó- és térképi adatbázis. A három vízmérce Q_{max} értékeit összehasonlítva (7. ábra) megállapítottam, hogy a mederformáláshoz szükséges magasabb vízállások idősorai között nincs szignifikáns különbség így az adatelemzéshez használni kívánt vízmérce kiválasztását más módon kellett elvégezni.



6. ábra: A Sajó hazai szakaszára vonatkozó vízrajzi adatok elérhetősége



7. ábra: A Q_{\max} értékek évenkénti alakulása a Sajó jelenleg is üzemelő vízmércéin

Vízhozam idősor legrégebb óta (1960) a felsőzsolcai vízmércén elérhető, azonban az első morfometriai adat 1952-ből származik, tehát 8 évnyi adatsor hiányzott. A bánrévei mérce mindössze 1950 és 1980 között üzemelt, viszont közel helyezkedett el a jelenleg is üzemelő sajópüspöki vízmércéhez. A vizsgálataimhoz az 1950-2011 közötti időszakot lefedő teljes idősort szerettem volna felhasználni, ezért a felsőzsolcai mérce adatainak elemzése helyett, ezért a vizsgálataim elején arra kerestem a választ, esetleg a bánrévei vízmércével kiegészíthetjük-e a sajópüspöki vízmérce adatsorát. A bánrévei vízmérce mindössze 2,81 folyamkilométerre helyezkedik el folyásirányban a sajópüspöki vízmércétől, ráadásul 1950 óta rögzít vízhozam adatokat. A két település a lényegében a Sajó két ellentétes partján helyezkedik el szinte azonos folyamkilométeren belül, ezért az alapfelvetésem szerint a két mérce vízhozam-adatainak közel azonos jellegűnek kellene lennie. Hipotézisem igazolása céljából statisztikai vizsgálatnak vettem alá a két vízmérce által, a 13 éves átfedő időszak alatt rögzített 5.111 db vízhozam értékét. Első lépésként páros Wilcoxon-tesztet alkalmaztam és egyaránt kiszámítottam a szignifikanciát (p) és a hatásnagyságot (r). Meghatároztam továbbá a két állomás adatsorai közötti statisztikai kapcsolatot lineáris regresszióval (R^2) valamint a becslés standard hibáját (SEE). A homoszkedaszticitás kezelése a Breusch-Pagan-teszt alapját történt (Hammer et al. 2001). Mindezek alapján állítottam fel az alábbi egyenletet: $y=0,97694x+0,53886$ (ahol y: Bánréve adatsora; x: Sajópüspöki adatsora; $R^2=0,983$; $p<0,001$; $SEE=5,44$). Ezt felhasználva számítottam ki a Sajópüspöki vízmérce hiányzó adatsorát, elemzéseimhez ezt a végső adatsort használtam fel.

Az így rendelkezésre álló vízhozam-adatok alapján meghatároztam az árhullámok visszatérési idejét. A szakirodalom alapján az 1,1 éves visszatérési idejű árvizeket tekinthetjük a mederformáló vízhozamnak (Kiss és Blanka 2012), mely a legintenzívebb partpusztításért felelős. Ez a vízhozam-érték a Sajópüspöki vízmérce adatai alapján $139,27 \text{ m}^3/\text{s}$. A part állékonysága akkor a legkisebb, ha ennek a vízhozam-értéknek magas a tartóssága, ezért meghatároztam, hogy a vizsgált időszakok hány százalékában érték el és voltak magasabbak a vízhozamok az 1,1; 2 és 5 éves visszatérési idejű árvizek értékeinél.

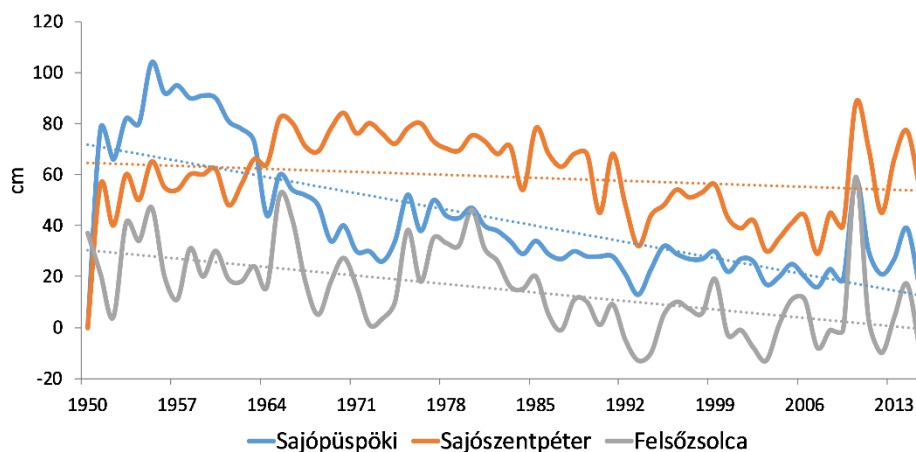
A 4. táblázat alapján jelentős különbségek figyelhetők meg a mederformáló vízhozamot meghaladó időszakok tartósságában a Sajópüspöki vízmérce adataira vonatkozóan.

4. táblázat: A mederformáló vízhozamot meghaladó időszakok eloszlása

	1952- 1956	1956- 1975	1975- 1980	1980- 1988	1988- 2000	2000- 2005	2005- 2011
N1,1 ($Q=139,27 \text{ m}^3/\text{s}$) feletti napok	22	46	37	10	21	1	31
N2 ($Q= 200 \text{ m}^3/\text{s}$) feletti napok	6	16	23	3	5	0	11
N5 ($Q= 315 \text{ m}^3/\text{s}$) feletti napok	0	3	6	1	0	0	6
napok száma összesen	1.460	6.940	1.826	2.922	4.383	1.827	2.191
tartósság % (N1,1)	1,51	0,66	2,03	0,34	0,48	0,05	1,41
tartósság % (N2)	0,41	0,23	1,26	0,10	0,11	0	0,50
tartósság % (N5)	0	0,0004	0,0032	0,0003	0	0	0,0027

A teljes vizsgált időszak első huszonhárom év során (1952-1956; 1956-1975) a mederformálónál nagyobb vízhozamok tekintetében egy enyhe csökkenés (-0,9%) jelentkezett, ezt azonban a következő öt évben egy növekedés követte. Habár az 1975-1980 közötti időszak mindössze öt évet ölel fel, azonban mind a mederformáló vízhozam, mind a két éves visszatérési idejű árhullámok tartóssága ebben az időszakban volt a legmagasabb (~2% ill. 1,2%) a közel 60 éves időszakban. 1980-tól kezdődően egy jelentős visszaesés következett 2000-ig 0,3 és 0,5% közötti tartóssággal ($Q_{N=1,1}$), sőt 2000 és 2005 között mindössze egyetlen napig emelkedett a vízhozam a mederformáló fölé. Az utolsó időszak (2005-2011) egy szignifikáns vízhozam-emelkedést hozott, megközelítve a kiindulási időszak (1952-1956) vízhozam-szintjeit.

A meder esetleges bevágódása alapvetően befolyásolhatja a kanyarulatfejlődések mechanizmusát. Az évi legkisebb vízállások idősora alapján (8. ábra) megállapítható, hogy a vízszintek leginkább a Sajópüspöki vízmérce esetén mutatnak csökkenést. Ez a trend a felsőzsolcai vízmérce esetén enyhébb esésű, míg a Sajószentpéteri esetén már alig számottevő. Mindezek alapján enyhe bevágódás mindössze a Sajó országhatárhoz közeli szakaszán jelentkezik.



8. ábra: Az évi legkisebb vízállások (LKV) időbeli változásai a Sajó-menti vízmércéken

4.3. Rész-szakaszok lehatárolása

A Sajó hazai szakaszára vonatkozó szakirodalom többsége jelentős mértékben elavult, geomorfológiai szemszögű áttekintő leírás pedig az utóbbi évtizedekben egyáltalán nem készült a folyóról. A recens mederfejlődési dinamika feltárása szempontjából azonban elengedhetetlen a hidrológiai és geomorfológiai sajátosságok részletes és naprakész elemzése. A mederfejlődés térbeli és időbeli változásának vizsgálata előtt azonban célszerű tisztázni a meder mentén történt mesterséges beavatkozások és szabályozások mértékének kimutatását annak érdekében, hogy el tudjam különíteni a kvázi természetesen fejlődő szakaszok és az antropogén hatás alatt álló szakaszok közötti eltéréseket és hasonlóságokat.

Fontosnak tartottam továbbá, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján kijelöljek hasonló tulajdonságokkal rendelkező részzszakaszokat is.

A Sajó teljes hazai szakaszára vonatkozó naprakész vízügyi adatbázisokat az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság, Árvízvédelmi és Folyógazdálkodási Osztály bocsátotta rendelkezésemre. Az adatbázis részét képezték az árvízvédelmi töltések vonalas objektumai, a partbiztosítási beavatkozások által módosított szakaszok kiterjedései, a folyó vízrajzi hossz-szelvénye valamint az egyes mederrendezési munkálatokhoz (pl. mederkotrás, sarkantyú) tartozó leírások is. Fontos megjegyezni, hogy a Vízügyi Igazgatóság által nyilvántartott adatok sem teljes mértékben pontosak, ugyanis bizonyos esetekben előfordul illegális beavatkozás is (pl. kavics- és homok-kitermelés), továbbá a nyilvántartásba vett elemek felülvizsgálata nem minden tekintetben naprakész. A rész-szakaszok lehatárolása érdekében egyaránt természetes és antropogén eredetű tényezőket is figyelembe vettem, melyek meghatározzák a mederszakaszok jellegét (5. táblázat).

5. táblázat: A részzszakaszok lehatárolása során figyelembe vett tényezők

Természetes	Antropogén
Folyómedrek völgyi korlátozottsága	Töltések, gátak közelsége
Partfal összetétele	Kanyarulat-átmetszések száma
Meder esése	Átmetszett kanyarulatok teljes hossza
Betorkolló mellékfolyók száma, mérete	Partbiztosítással védett kanyarulatok aránya

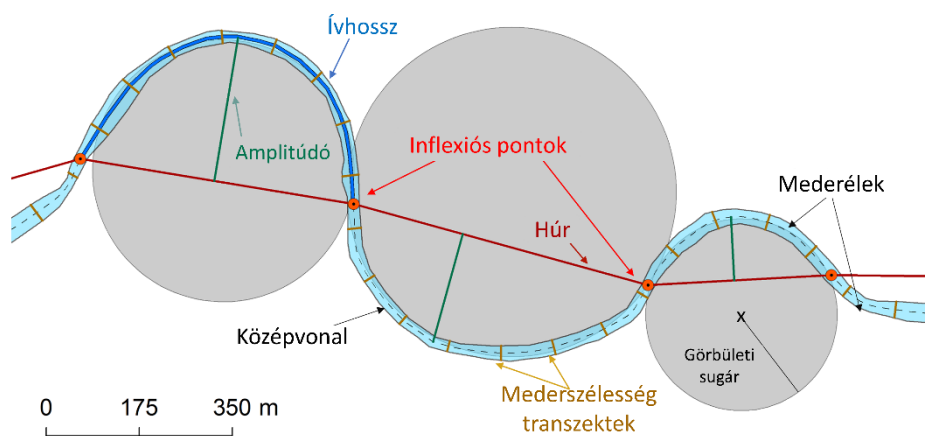
A teljes szakasz átfogó ismerete érdekében a kutatás első időszakában több szakaszból álló terepi megfigyelést végeztem. Ezek nem jelentettek konkrét mintavételt, sokkal inkább egy részletes fotódokumentáció létrehozását tette lehetővé. A terepbejárásaim során elsősorban végigjártam a hazai szakasz gépkocsival és gyalogosan megközelíthető területeit az ártéren, s olyan partfalakat kerestem, ahol vizuális interpretációval megállapítható a partfal összetétele. A jellemzően finomabb frakcióba tartozó iszapos-anyagos üledékből felépülő partfalakat „kohézív” típusúnak azonosítottam, a főként durvább szemcseméretű kavicsos-homokos üledékből álló partfalak „nem kohézív” besorolást kaptak, míg az eltérő szemcseeloszlású rétegsorok mentén létrejött partfáltípusokat „összetett” kategóriába soroltam. Ezek változékonyságát nehéz meghatározni, ennek ellenére a pontszerűen vizsgált partfáltípusok hasznos adalékokkal szolgálták az egyes szakaszok jellemzését. Tovább nehezítette a bejárást, hogy ezeket az információkat kizárólag a gyér vegetációval borított partfalak mentén sikerült rögzíteni.

A meder esésviszonyait a Vízügyi Igazgatóságtól kapott hivatalos esésgörbe alapján állapítottam meg a szakaszhatárokat figyelembe véve. A vizsgálatot megelőzően statisztikai alapon terveztem megvalósítani a rész-szakaszok lehatárolását oly módon, hogy a szakaszok határai mindenképpen az inflexiós pontok legyenek. A legalkalmasabb módszer kiválasztásánál azonban akadályként jelentkezett a tény, miszerint egyes változók értékét (pl. völgyi korlátozottság, partfal anyaga) nem lehetséges kanyarulatonként meghatározni, ráadásul eltérő időpontokban. Ezen okból kifolyólag egy szubjektívebb elkülönítési módszert

alkalmaztam, melyhez a rendelkezésre álló változók összességét áttekintve határoztam meg a Sajó-meder rész-szakaszait. Az összesítés alapján 12 db olyan részszakaszt tudtam elkülöníteni, amelyek esetén a kanyarulatok nagyon hasonló tulajdonságokkal bírtak. A szakaszhatárokat más tanulmányoktól eltérően (Rusnák és Lehotský 2014; Ondruch és Máčka 2015) nem folyamkilométer-határokon, hanem minden esetben inflexiós pontokban adtam meg, azokon a helyeken, ahol a mederfejlődés és az antropogén hatás mértéke egyértelmű irányváltást mutatott.

4.4. Medermorfometriai paraméterek és a laterális mederelmozdulás vizsgálata

A horizontális mederfejlődés térbeli és időbeli változásainak és esetleges stabilitásának feltárása a medermorfometriai paraméterek alapján történt a vizsgált időszakokban. A vizsgálat kezdetén a manuálisan vektorizált mederélekből generált poligonokat használtam fel. ArcGIS 10.3 szoftverben egy erre a célra fejlesztett ToolBox segítségével (Dilts 2015) szerkesztettem meg a folyómedrek középvonalait, azaz a partélek közötti távolság felezőpontjait összekötő vonalláncokat, melyek a további morfometriai mutatók (9. ábra) kiszámításának alapadatait jelentették.



9. ábra: A vizsgálat során számított horizontális medermorfometriai mutatók

A korábbi szakirodalmi források a folyók inflexiós pontjait a középvonal és a sodorvonal metszéspontjaként azonosították (Félegyházi et al. 2009). Ez az a pont, ahol a kanyarulatok ún. irányváltása történik (Kiss 2014). A középvonalak az előző lépés során elkészültek, azonban a sodorvonal pontos kijelölése nem volt lehetséges a medertopográfiai adatok ismerete hiányában. Mindemelllett a dinamikusan fejlődő folyók mentén a batimetriai jellemzők, ezáltal a sodorvonal helyzete akár egy éven belül is változhatnak. Egyes tanulmányok kísérletet tettek arra, hogy a folyómedrek poligonjainak görbületi viszonyai alapján becsüljék a sodorvonal elméleti elhelyezkedését (Merwade et al. 2005; Güneralp és Rhoads 2009) azonban a módszer validációjához nem rendelkezünk medertopográfiai adatokkal. Más

megközelítés szerint az inflexiós pontok megadhatók a kanyarulatok között berajzolható egyenes szakaszok felezőpontjában is (Blanka 2010), elemzéseinkhez ezt a módszert alkalmaztam.

Az átlagos mederszélesség meghatározásához az egyes időszakok középvonalai mentén a tiszai torkolattól felfelé 100 méterenként szerkesztettem a középvonalra merőleges keresztshelvényeket, melyek hossza bőven meghaladta a váltakozóan széles medrek kiterjedését (Olson et al. 2014). Ezt követően az egyes időszakokra vonatkozó meder-poligonokkal egy lépésben levágtam a keresztshelvényeket, majd kiszámítottam azok hosszát, s végül kiátlagoltam őket.

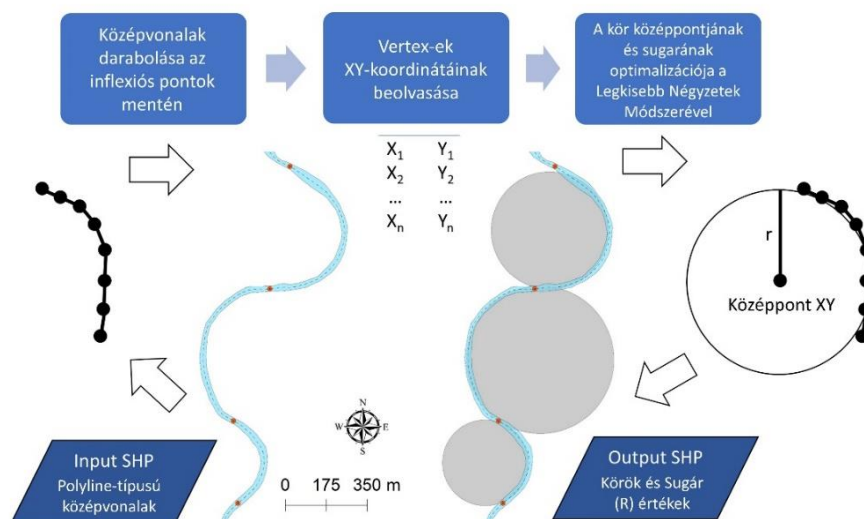
A kanyarulatok ívhossza alatt lényegében a középvonal két inflexiós pont között mért távolságát értjük, ehhez az inflexiós pontok vektoros fedvényei segítségével daraboltam fel a középvonalak másolatait, majd folyásiránnyal ellenkező irányban (a folyamkilométerek számozásához hasonlóan) növekvő kódolással ellátva kiszámítottam a hosszukat.

A kanyarulatok húr hosszát a kezdő- és végpontot jelentő inflexiós pontok közötti távolságként határoztam meg.

A kanyarulatok magasságának vagy másnéven amplitúdójának méréséhez be kellett rajzolnom a kanyarulat csúcspontjához illeszhető leghosszabb, a húrra merőleges egyenest. Az előbbieken már említett folyásiránnyal ellentétes sorrendű kódolást minden morfolometriai paraméter esetében elvégeztem, ezért minden egyes kanyarulat tekintetében a hozzá tartozó mérőszámok összetett vizsgálata is lehetővé vált.

Elemzéseimet a közel 125 km hosszú hazai Sajó szakaszon minden egyes kanyarulat esetén egyenként elvégeztem nyolc vizsgált időpontban, többnyire manuális szerkesztéssel. Az ívhossz, húr hossz, amplitúdó esetén így 6.843 db mért adatom keletkezett, a mederszélességek esetén összesen 6.140 keresztshelvény készült. A görbületi sugár, vagyis a kanyarulatokba illeszhető legnagyobb kör sugarának meghatározása kizárólag manuális módszerekkel azonban nagyon időigényes és számos pontatlanságot is generáló megoldás lett volna. A görbületi sugarak automatizált kiszámítására egy ArcGIS 10.3 Python scriptet készítettünk (10. ábra).

A művelet input számára olyan vonalas shape-fájlt használtam, ahol a kanyarulatok az inflexiós pontok mentén korábban már fel lettek darabolva, ezáltal a script ezeket önálló feature-ként kezelte. A folyókanyarulat partvonalára illesztett kör középpontjának és sugarának meghatározására volt az első lépés. A script ezeknek a szakaszoknak minden X és Y koordinátáját beolvasva számol egy átlag X és átlag Y koordináta értéket. Egy optimalizáló algoritmus ezt a pontot alapul véve iterációkkal tovább közelíti (legkisebb négyzetek módszerével) a kör középpontjának helyzetét és sugarának a hosszát. Ez lehetővé tette, hogy a legjobban illeszkedő adott középpontú és sugarú kört lehessen kijelölni minden egyes szakaszra. A script segítségével a korábban manuális módon szerkesztett húr hosszak ebben már egyszerű koordinátageometriai úton automatizálva is kiszámíthatók. A scriptben lehetőség van arra, hogy ezt a hűrt átmérőként figyelembe véve szintén kört illesszünk.

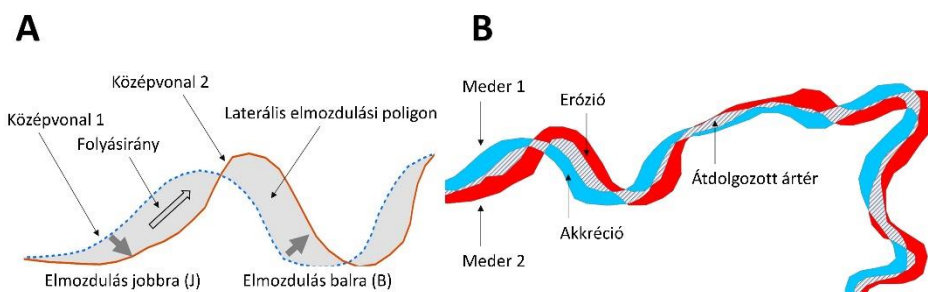


10. ábra: A kanyarulatok görbületi sugarának automatizált meghatározásához használt Python-script működési vázlatja

A futtatás után egy olyan polygon feature class-t kapunk, mely az eredeti input shape-fájl attribútumai mellett tárolja az illesztett körök sugarait és középpontjait, ezzel megkönnyítve az egyes morfológiai jellemzők kiszámítását. Fontos megjegyezni, hogy a script alapján a beillesztett körök és a görbületi sugarak kiszámításra kerültek a teljes szakaszra, azonban értelemszerűen a csupán enyhén görbüettel rendelkező vagy szinte egyenes szakaszok esetén ezek a körök kiugróan magas sugár-értékeket eredményeztek. Ez a mutatószám főleg a magasabb kanyargóssági besorolású kanyarulatok esetén alkalmazandó, ezért az $SI=1,5$ -nél kisebb kanyargóssági értékekkel rendelkező kanyarulatok eredményeit kihagytam a további elemzésekből. Végül a görbületi sugár értékekből kiszámítottam a szélességgel normalizált görbületi sugár (R/w) értékeket az összehasonlíthatóság érdekében. A kanyarulatok azonosítása érdekében a tiszai torkolattól kezdve, folyásiránnyal ellentétes irányban számoztam a kanyarulatokat minden időpontban.

Az átlagos mederelmozdulást (11/a. ábra), ami nem más, mint az egymást követő időszakokban meghatározott középvonalak által kirajzolt poligon területének és a kerületének a hányadosa (Micheli et al. 2004), szintén meghatároztam ezekben az időszakokban. Tekintve, hogy az egyes időszakok között eltelt évek száma nem egységes, azért az erózió/akkréció, valamint a mederelmozdulás értékeit az időszakok között eltelt évek számával normalizáltam, hogy a későbbiekben összehasonlíthatók legyenek (Micheli és Larsen 2011).

Az egyes középvonalak egymáshoz viszonyított relatív pozíciója alapján azt is meghatároztam, hogy a jobb vagy a bal oldal irányába történt az elmozdulás. Jóllehet ezen adatok alapján felvázolhatók a mederváltozás főbb trendjei, azonban fontos számszerűsíteni azt is, hogy ez az elmozdulás mekkora hatást fejtett ki az ártérre. Ugyanakkora mértékű laterális elmozdulás eltérő szélességű medrek esetén más-más kiterjedésű parterróziót képes előidézni.



11. ábra: A laterális mederelmozdulás és az meder által kifejtett eróziós/akkumuláció mértékének számszerűsítése céljából alkalmazott módszerek

A Sajó mederfejlődése során végbemenő laterális parterózió kiterjedésének számszerűsítését a geoinformatikai rendszerben egymásra helyezett vektorizált meder-poligonok segítségével végeztem el (Rusnák és Lehotský 2014). Egymást követő években páronként az átfedő poligonokat metszettem össze, ezt követően átkódoltam az újonnan létrejött poligonokat attól függően, hogy azok éppen milyen jellegűek (11/b. ábra). Az eltolódás irányába eső új poligonok jelzik a folyómeder által az ártérből erodált területeket, míg az előző időpontban hátrahagyott poligon az akkréciónál érintett területet. Jelen vizsgálatban véleményem szerint az akkréciónál területek is kiemelt jelentőséggel bírnak az ökoszisztéma-diverzitás elemzés során. A sraffozott területek képviselik az ártér azon átdolgozott részét, ahol maga a folyómeder helyzete nem változik, ezáltal ott parterózió vagy akkréciónál sem jelentkezik (Greco et al. 2007; Hooke és Yorke 2010).

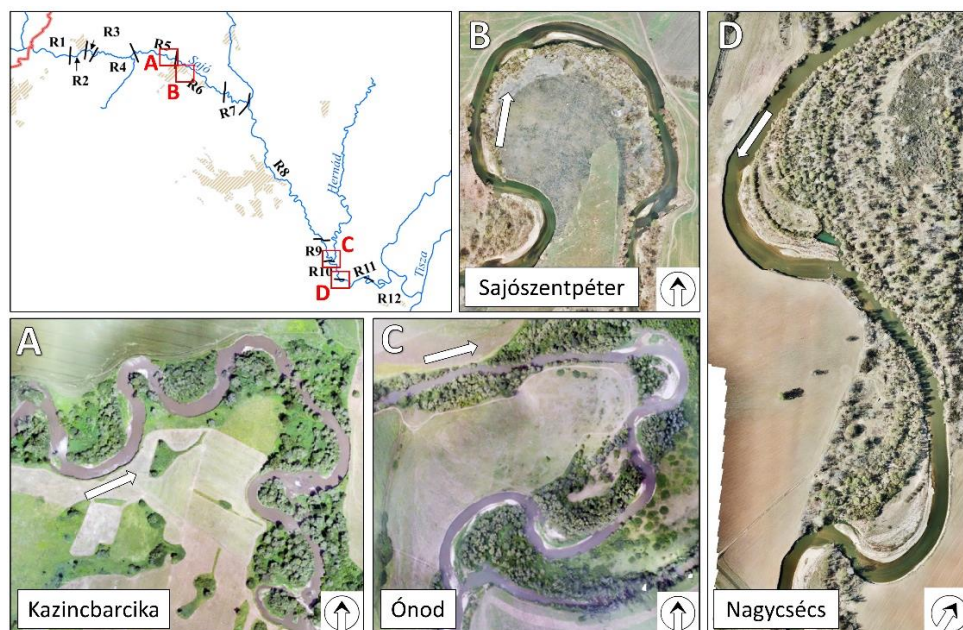
A kanyargóssági index (Sinuosity Index, SI) értékét a folyómeder középvonal mentén mért hosszának valamint a völgyhossznak a hányadosa adja meg (Brierley és Fryirs 2005). Ennek a mutatónak a kiszámításával már a folyómeder változásának területi vonatkozásai mellett a morfológiai jellegű átalakulás is jellemezhetővé vált. A középvonalak alapján minden időpontban meghatároztam a mederszakasz hosszát, a völgyhosszak értékeit pedig jelen esetben a kijelölt folyószakasz kezdő és végső inflexiós pontjainak légvonalbeli távolsága alapján számítottam ki. A kanyargóssági indexet minden vizsgált időpontban meghatároztam, míg az eróziós/akkréciónál rátákat az egymást követő időszakokban számítottam ki.

4.5. Parterózió monitoring pilóta nélküli légi járművekkel

A Sajó hazai szakaszára 2011-et követően nem készült olyan ortofotó-sorozat, mely az országhatártól a tiszai torkolatig egyaránt lefedné a medret (Internetes hivatkozás 1). A Google Earth Pro szoftverben elérhető látható tartományban készült felvételek térbeli felbontása az utóbbi években kimagasló szintre ért, ennek ellenére a kutatás megkezdésekor ez a minőség még nem állt rendelkezésre. Mindemellett a Sajó mederdinamikájának értelmezéséhez mindenképpen saját terepi adatgyűjtést terveztem megvalósítani.

A Sajó hosszútávú mederdinamikai elemzése mellett az intenzívebben fejlődő szakaszokon 2014-től kezdődően pilóta nélküli légi járművekkel (UAV) végeztem a

parteróziós monitoring vizsgálataimat. A mintaterületek kiválasztásának további szempontja volt, hogy eltérő jellegű kanyarulat-típusok esetén vizsgáljam a laterális erózió térbeli-időbeli változását. Az általam kijelölt területek folyásirány szerint Kazincbarcika, Sajószentpéter, Ónod valamint Nagycsécs települések külterületén helyezkednek el (12. ábra).



12. ábra: Az UAV-alapú parterózió-monitoring helyszínei

A négy helyszínen vizsgált Sajó-szakasz teljes hossza ~8,5 km. A kazincbarcikai mintaterületet 9 db, viszonylag kis húr- és ívhosszal rendelkező, szűk meanderezési övezetbe rendeződött kanyarulat alkotja. A sajószentpéteri területen egy hosszán elnyúló kanyarulat található nagy görbületi sugárral, amihez kapcsolódik egy másodlagos rövid kanyarulat. Az Ónod külterületéhez tartozó mederszakasz mentén torkollik be a Hernád. A nagycsécsi mintaterület két hosszabb és egy rövidebb meander láncolatát foglalja magában.

A parterózió-monitoring vizsgálataim során a közel öt éves időszakban (2014. április – 2019. március) összesen 19 db terepi mérést valósítottam meg (6. táblázat). A mérések időbeli vonzata miatt nem volt lehetőségem mind a négy terület felmérését egy adott időpontban elvégezni. Minden területen történt azonban legalább 5 db felmérés, míg a legrészletesebb vizsgálat (8 db felmérés) a nagycsécsi mintaterületen történt. Három terepi mérés esetén műszaki okokból kizárólag RTK-alapú partfelmérést tudtam elvégezni.

A mérések első lépése a fotogrammetriai feldolgozáshoz szükséges földi illesztőpontok (GCP) kihelyezése és koordinátáinak meghatározása volt. Mintaterületenként átlagos 12-20 db GCP-t helyeztem el a terepen. A pontok koordinátáinak geodéziai pontosságú (± 3 cm) bemérése Stonex S9 RTK-GPS alkalmazásával történt.

Az UAV-felmérések a vizsgált időszak alatt összesen 3 db pilóta nélküli légi járművel történtek (13. ábra). Az első időszakban DJI Phantom 2 UAV-t használtam, mely a rárögzített GoPro Hero3+ akciókamera segítségével készített légifelvételeket. 2018-tól kezdve már DJI Phantom 4 ill. DJI Mavic Pro UAV-k alkalmazásával folytattam a terepi munkát. Az első időszak során még a technológia nem tette lehetővé az autonóm repülést, vagyis a repülési terv alapján történő önálló térképezési mód megvalósítását, azonban az utóbbi két eszköz esetén ez már rendelkezésünkre állt.

6. táblázat: Terepi mérések időpontjai a mintaterületeken

	Kazincbarcika	Sajószentpéter	Ónod	Nagycséc 1.	Nagycséc 2.
2014.04.18.	RTK		+	+	
2014.08.25.					+
2014.09.30.			+	+	+
2015.05.19.	+				
2015.06.19.			+		
2015.08.27.				+	+
2015.10.03.		+			
2016.04.12.		+			
2016.04.19.	+				
2016.06.23.				+	+
2016.08.13.			+		
2016.10.10.	+				
2017.06.22.	+	+			
2017.07.05.			+	+	+
2017.11.02.	RTK				+
2018.05.05.	RTK				+
2018.10.16.	+	+			
2019.03.27.				+	+
2019.03.28.		+			
Összesen	5	5	5	6	8



13. ábra: A parterrózió-monitoring során alkalmazott pilóta nélküli légi járművek

Az UAV-lerepülések során a hagyományos légitérképezésben alkalmazott módon szükséges a vizsgált területet felmérni. Az autonóm lerepülések repülési tervének kialakítását és végrehajtását a DroneDeploy ingyenes Androidos applikáció segítségével végeztem.

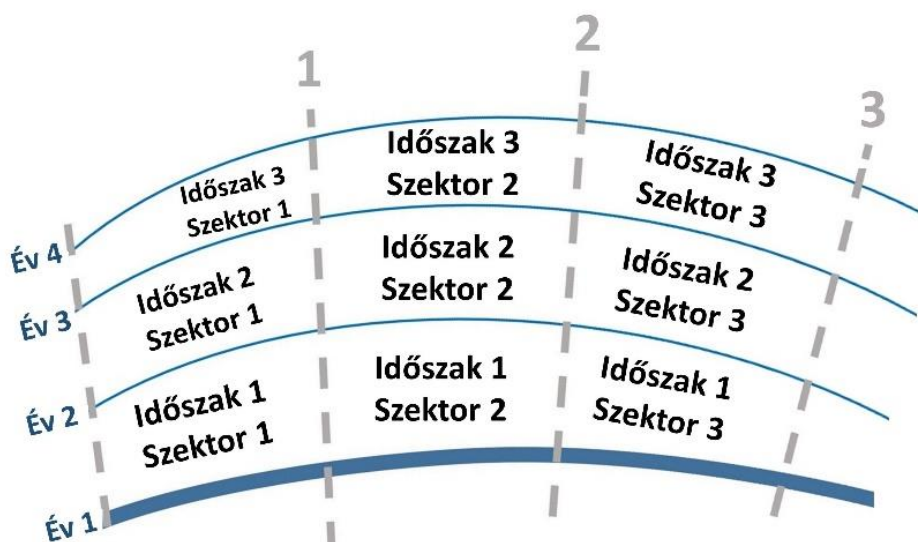
Az UAV-lerepüléseket 100-120 méteres (a.g.l., above ground level) repülési magasságból végeztem, az átlagos repülési idő 20-30 perc között volt. A területek méretétől függően egy-egy helyszínről 300-400 db légifotó készült.

A képeket Agisoft Photoscan 1.2.6. szoftverben dolgoztam fel. Az SfM-algoritmuson alapú feldolgozási folyamat eredményeképpen az elkészült ortofotók térbeli felbontása a DJI Phantom 2 esetén 5-9 cm, míg a DJI Phantom 4 és DJI Mavic Pro esetén 3-4 cm.

A parterózió számszerűsítése érdekében az ortofotókon minden egymást követő évben vektorizáltam a kanyarulatok külső ívét. A kisebb ívhosszú kanyarulatok mentén 10 méterenként, a nagyobb kanyarulatok esetén a kiindulási időszak meder-középvonalára merőlegesen 20 méterenként keresztaszvénnyeket szerkesztettem. A keresztaszvénnyek mentén először megmértem a meder oldalirányú elmozdulását. Ezt követően az egymást követő partélek által bezárt poligonokat szerkesztettem, majd ezeket a keresztaszvénnyek mentén feldaraboltam. A művelet során minden önálló poligon-szektort kódoltam attól függően, hogy melyik időszak, melyik szektora; végül kiszámítottam minden szektor területét (14. ábra).

Annak érdekében, hogy az eltérő hosszúságú időszakok során végbement parteróziót összehasonlíthassam, a szektorokban számított erodált területet $m^2/fél\ év$ formátumba számítottam át.

Az elemzéseket ArcGIS 10.3 valamint Microsoft Excel 2016 szoftverekben végeztem.

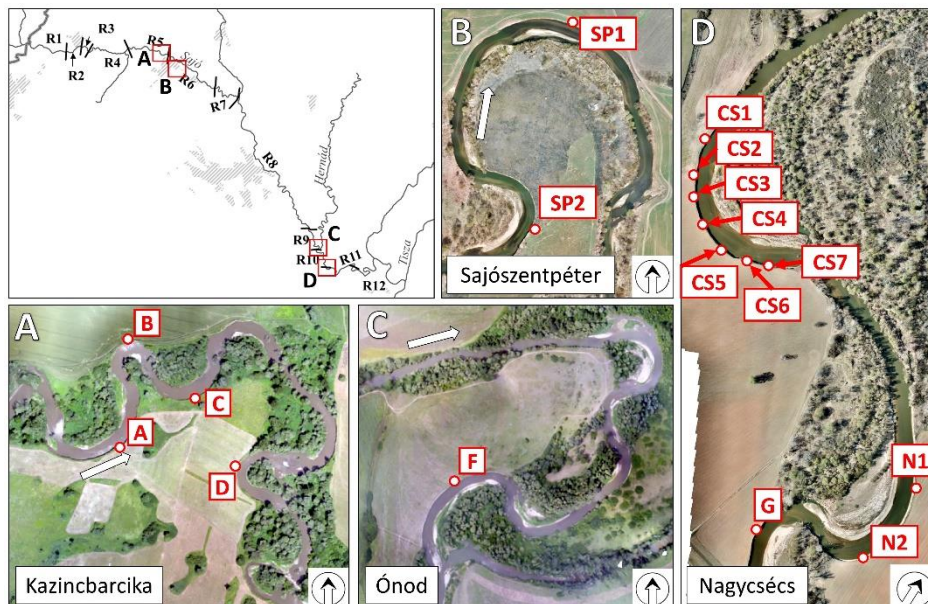


14. ábra: A parterózió mértékének meghatározása során alkalmazott módszer vázolata

4.6. Szedimentológiai vizsgálatok

4.6.1. A kanyarulatok part-anyagának vizsgálata

A rövidtávú kanyarulatfejlődés- és parterózió monitoring vizsgálataim mellett célul tűztem ki az adott kanyarulat erodálhatóságát befolyásoló tényezők elemzését. A kanyarulatok külső ívének stabilitását alapvetően meghatározza a part anyaga, azon belül is a szemcseösszetétele. Az elemzéseim során arra kerestem a választ, hogy az eltérő jellegű kanyarulatok parteróziójának intenzitása mennyire függ össze a partok anyagának szemcseösszetételével. Ennek érdekében az UAV-parterózió mintaterületein 10 db kanyarulata mentén összesen 17 db ponton végeztünk talajmintavételt (15. ábra).



15. ábra: A talajmintavételi pontok elhelyezkedése az UAV-monitoring mintaterületein

A mintavétel során Ejkelkamp típusú kézi talajfúróval készítettünk talajfúrásokat, majd a talajmintákat 10 cm-enként gyűjtöttük be. A talajfúrások mélyítését és a mintavételt az adott kanyarulat középvízszintjéig vagy olyan mélységig, melyet a kavicsréteg tömörsége okán kézfúróval már nem volt lehetőségünk áttörni.

4.6.2. Szemcseeloszlási vizsgálatok

A talajminták szemcseösszetételének meghatározását lézerdiffrakciós szemcseanalízissel végeztem.

A feldolgozási folyamat több lépésben történt. Elsőként a talajmintákat szárítószekrényben 105 °C-on beszáritottam, majd porítottam.

A minták előkezelése során a későbbi mérést esetleg talajkémiai szempontból befolyásoló szervesanyag-tartalom eltávolítását mellőztem. A szakirodalom szerint alacsony-szervesanyag-tartalmú minták esetén a hidrogén-peroxidos (H₂O₂)

roncsolással előkezelt és kezeletlen minták szemcseösszetételében az agyag, iszap és homok-frakcióban erőteljesen korrelálnak az eredmények (Beuselinck et al. 1998; Di Stefano et al. 2010). Az általam gyűjtött talajminták előzetes vizsgálata során a humusztartalom a talajminták alig egytizedében haladta meg a 4%-ot.

A lézeres szemcseanalízist megelőzően azonban szükség volt az ásványi mikro- és makroaggregátumok kémiai reagenssel történő szétválasztására (Kun et al. 2013). A kezelés során Na-pirofoszfátos ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) áztatást alkalmaztam, melynek lényege, hogy az oldat a részecskék körül kialakított hidrátburokkal diszpergált állapotban tartja azokat. Ezzel egyidőben megakadályozza a szemcsék ismételt összetapadását is, azonban a további kötéseket előidéző szerves anyagok bontására már nem alkalmas (Madarász et al. 2012).

Az MSz 08-0205-1978 szabvány szerint a méréseket megelőzően 55,8 g Na-pirofoszfáthoz desztillált víz hozzáadásával 1 liter oldatot készítettem. Falconcsövekbe 5 g légszáraz, porított talajminta került, amire 10 ml Na-pirofoszfát oldatot adagoltam. Az üvegpálcával összekevert szuszpenziót ezt követően 24 órára állni hagytam a kémiai folyamatok lezajlásáig. Ezután a mintákat rázógépre helyeztem és 250 rpm fordulaton 4 órán át rázattam. A rázatást követően pedig minden mintát 4000 rpm fordulaton 10 percig centrifugáltam. A csövekben összesűrített mintákról a felülúszókat egycsatornás pipetta segítségével távolítottam el.

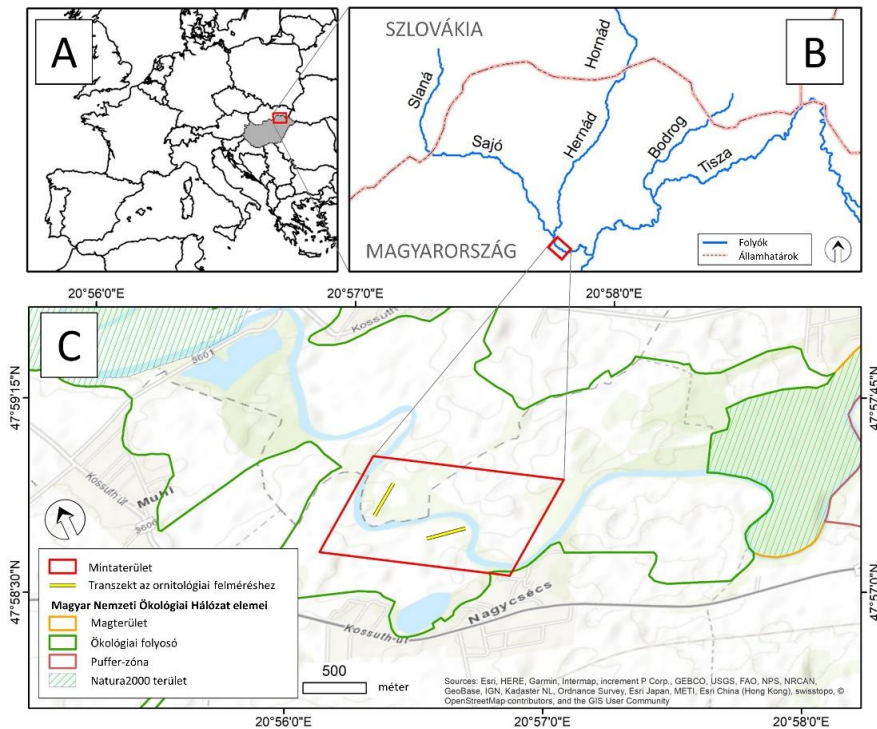
A lézeres szemcseanalízist Malvern Mastersizer 2000 (Malvern, Anglia, Egyesült Királyság) eszközzel végeztem. A mérőműszerhez tartozik még egy ún. diszperziós egység, mely esetben a desztillált víz áramoltatását végezte, ebbe került behelyezésre ~1 g talajminta. A műszer mérése tartománya 0,02 μm és 2000 μm közé esik. A behelyezett minták mérése háromszoros ismétléssel történt, a szemcseméret eloszlás 108 osztályra lebontva határoztam meg. A szemcseméret-osztályokat végül az ISO 14688-1 szabvány szerinti skálára számítottam át: Agyag (<0,002 mm), Iszap (0,002 - 0,063 mm), Homok (0,063 - 2 mm), Kavics (> 2 mm).

A 2000 μm átmérőnél nagyobb szemcsék eloszlását száraz szitálással határoztam meg.

4.7. A kanyarulatfejlődés ökológiai vonatkozásainak vizsgálata a Sajó mentén

A Nemzeti Ökológiai Hálózat második fázisának kialakítása 1999-2001 között valósult meg a Páneurópai Ökológiai Hálózat (Pan-European Ecological Network – PEEN) kritérium-rendszeréhez illeszkedve. A Nemzeti Ökológiai Hálózat az alábbi funkcionális elemeket különítette el: magterületek, ökológiai folyosók, puffertületek és rehabilitációs területek (Báldi 1998; Bennett 1998; Bouwma és Wolters 1998; Jongman et al. 2011). Magterület esetén az ökológiai hálózat olyan foltszerű elemét vizsgáljuk, melyek tetszőleges kiterjedéssel rendelkezhetnek, azonban megfelelő méret esetén ezek a foltok értékes populációk és életközösségek élőhelyei továbbá genetikai rezervátumai. Az ökológiai folyosók a magterületek között elhelyezkedő, sávós-folytonos élőhely-típusok, melyek láncolata lehetővé teszik az élőhelykomplexumok közötti génáramlást (Larned et al. 2010).

Az alábbiakban bemutatott vizsgálat a Sajó folyó 12. ábrán is említett nagycsécsi mintaterületén elhelyezkedő és 2,12 km hosszú szakaszára koncentrált, mely három egymást követő kanyarulatból áll (16. ábra).



16.  bra: A mintaterület áttekintő t rkepe

A további elemzések a kanyarulatrendszer átfogó 68,4 hektáros téglalap alapú területen történtek. Ez a szakasz  zert került kiválasztásra, mert a szabadon fejlődő, meanderező típus egyik látványos képviselője, ráadásul k t, erősen szabályozott folyószakasz között helyezkedik el. A mintaterület, s ezzel együtt a Sajó árterének az ide tartozó  rtere a Nemzeti  kol giai Hálózaton belül az ökológiai folyosó kategóriájába esik, ami ráadásul k t Natura2000 területet kapcsol össze.

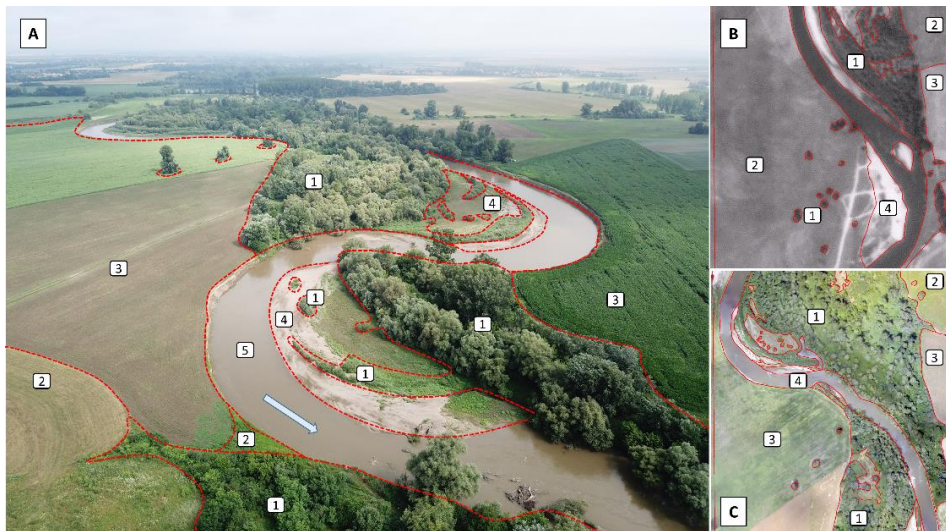
Az adatbázisok előzetes áttekintése és helyszíni terepbejárásaink alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált terület t jmozaikj t a folyómeder, csupas zátonyfelszínek,  vel  gyepterületek, f k és bokrok által felépített erdőfoltok, szántóföldi parcellák és lakott területek által képzett összetett foltrendszer alkotja. V lemeny nk szerint a zátonyfelszínek, a gyepterületek valamint a f s vegetáció t jfoltjait a saját szukcessziós folyamatai kapcsolják össze, ezeket pedig alapvetően meghat rzza a folyómeder alakváltozása és a vízjárás dinamikája. A további kategóriákat, úgymint a szántóföldi parcellákat és a telep lesek pedig egyértelműen az emberi hatás alatt álló tájszerkezeti elemeknek tekinthetjük.

A csupas vagy szabad zátonyfelszínek nem minden esetben jelentik a vegetáció hiányát, egyaránt jelolik a m g csekély boritotts got is. Ezeken a z tonyfelsz neken főleg zavarástűrő növényfajokat azonosítottunk: fehér libatop (*Chenopodium*

vonatkozóan (Rusnák et al. 2018; Szabó et al. 2018). Ezeket az eszközöket napjainkban egyre szélesebb körben alkalmazzák vizes területek térképezéséhez, ill. katasztrófavédelmi elemzéseikhez (Restás 2015, 2018). Az UAV-eszközök szolgáltatják az alapadatokat az elemzések utolsó három időpontjához (2015, 2016, 2017). Az UAV-lerepüléseket kisvízi időszakban végeztem, minden felmérés során 15-20 db GCP-t alkalmaztam a külső tájékozáshoz, koordinátaikat nagy pontosságú geodéziai GPS (Stonex S9 RTK) segítségével mértem be. Az UAV-lerepülések során a légifelvételzés átlagosan 120 méteres (a.g.l., above ground level) terep feletti magasságból történt, a repülési pásztlak között mindkét irányban 75%-os átfedés biztosításával, ez tette lehetővé a végső ortofotók 7-9 centiméteres terepi felbontásának elérését. A felvételek fotogrammetriai feldolgozását Agisoft Photoscan 1.2.6 szoftverben végeztem, az elkészült digitális ortofotók térbeli felbontása 5 cm volt.

4.7.2. Tájmetriai elemzés

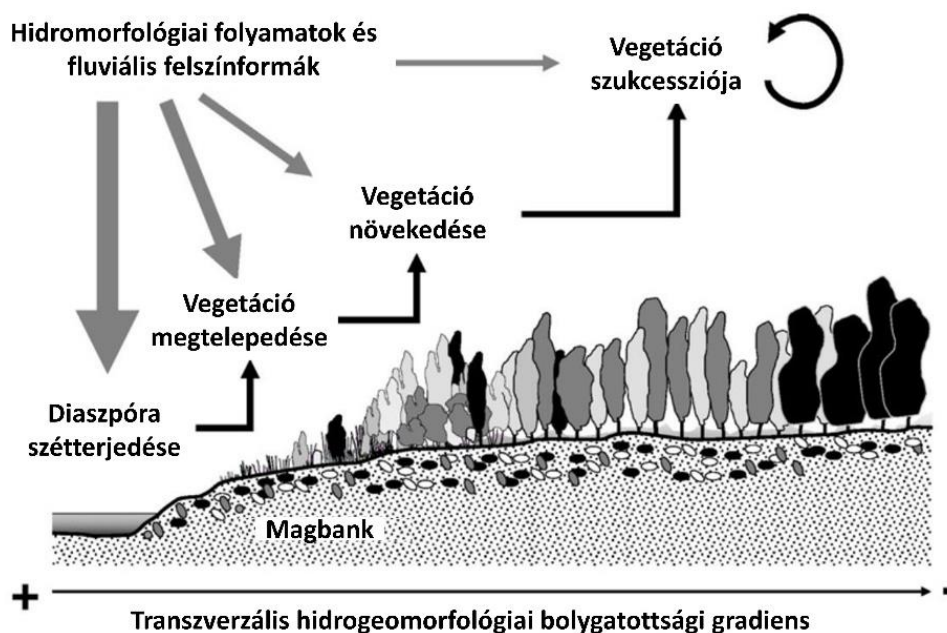
Az intenzíven fejlődő Sajó meder közvetlen környezetében lezajlott felszínborításban megmutatkozó folyamatok és ökológiai jellemzők feltárása érdekében osztály- és táj-szintű tájmetriai indexeket határoztunk meg. Ehhez szükségünk volt egy részletes felszínborítási alapadatbázis kialakítására is. A felszínborítási foltokat ArcGIS szoftverben manuális vektorizálással digitalizáltam 1:1000 méretarány mellett az ortorektifikált légifelvételeken és ortofotókon minden időpontban. A felszínborítás vektorizálása során az alábbi kategóriákat különítettem el: erdők és bokrok, gyepterületek, szántóföldi parcellák, csupasz zátonyfelszínek, beépített terület valamint maga a Sajó középvízi medre (17. ábra).



17. ábra: A vizsgált terület és a különböző felszínborítás kategóriák áttekintése légifelvételen. 1 – Erdők és bokrok, 2 – Gyepterületek, 3 – Szántóföldi parcellák, 4 – Csupasz zátonyfelszínek, 5 – középvízi folyómeder. A – Ferde-tengelyű UAV-légifelvétel (készítette: Bertalan László, 2017. június 11), B – Fekete-fehér archív katonai légifotó-kivágat (1975), C – UAV-ortofotó (2017)

Az 1952, 1956, 1975 és 1988 években készült archív katonai légifelvételek fekete-fehér formátumúak, ráadásul minőségük gyakran nem megfelelő. A korlátaik ismeretében ennek ellenére alkalmazásuk egy kiterjesztett időtávú vizsgálat megvalósítását teszik lehetővé. A felszínborítási kategóriáknak az összes időpontban konzisztensnek kell lenniük, ezért a bokrokat és az erdőket alkotó fákat nem vektorizáltam külön, hanem egy közös kategóriát hoztunk létre számukra, ugyanis a bokrok foltjainak azonosítása az első négy időpontban számos hibával lett volna csak kivitelezhető.

A kategóriák kialakítása során a Corenblit-féle négy szakaszú szukcessziós modellt vettem alapul (18. ábra, Corenblit et al. 2007). Jelen esetben a csupasz zátonyfelszínnek képviselik az utánpótlás fázist; a gyepterületek képezik a vegetációs megtelepedési fázist; míg a szukcesszió tovább folytatódik a bokrok és fák, majd az erdők kifejlődésével, melyek többnyire azonos jellegű növényfajok, de eltérő korról és fejlődési stádiumban. Maga a folyómeder, mint a tájmozaik kulcsfontosságú eleme, biztosítja a diaszpóra tovább bővülését és a fajok tovább terjedését. A szántóföldek valamint a települések közigazgatási zónáihoz kapcsolódó beépített területek felszínborítási foltjainak változása pedig teljes mértékben az emberi tevékenységektől függ mindaddig, amíg a folyómeder fejlődése és vándorlása meg nem változtatja azt, vagy vissza nem helyezi a szukcesszió egy korábbi fázisába.



18. ábra: A hidro-geomorfológiai folyamatok mentén végbemenő szukcessziós pálya (Forrás: Corenblit et al. 2007)

Annak érdekében, hogy számszerűsítsem és értékeljem a felszínborítást érintő közvetlen változásokat valamint a tájfoltok átalakulását a vegetáció szukcessziójának, a mederfejlődésnek valamint a mezőgazdasági művelés

függvényében; a vektorizált felszínborítási foltok adataiból konfúziós mátrixot számítottam Idrisi szoftverben. Az így kapott táblázatban két összehasonlított időpontban százalékos formában megadható egy adott felszínborítási kategória a kiindulási és a végállapot között (Lewis és Brown 2001). A táblázat oszlopaiban találjuk az adott kiindulási felszínborítási kategóriákat, majd soronként azonosíthatjuk, hogy ez a kategória melyik másik kategóriába alakult át. A feltüntetett értékek pedig a teljes terület százalékában adják meg az átalakulás mértékét.

A tájmetriai elemzések során olyan mérőszámokat alkalmaztunk, melyek alkalmasak az ártér és annak környezetére vonatkozó diverzitás kimutatására:

- **Patch Density (PD)**, vagy más néven *foltsűrűség*, amely táji szinten került kiszámításra. A terület és foltszám hányadosaként egységnyi területre vonatkoztatva adja meg a vizsgálati egység foltszámát:

$$PD = \frac{N}{A}(10000)(100)$$

ahol az N jelöli a vizsgálati egység foltjainak számát, A jelöli a vizsgálati egység területét négyzetméterben, mértékegysége *folt/100 hektár* (McGarigal és Marks 1995).

- **Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)**, vagy más néven *keveredési és egymásmellettségi index*, amely táji szinten került kiszámításra. A mérőszám megadja minden folt esetén, hogy azok mekkora mértékben határosak a többi folttal, valamint mennyire vegyülnek a többi folttal. Képlete:

$$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m [(E_{ik}) \times \ln(E_{ik})]}{\ln\left(\frac{m(m-1)}{2}\right)}$$

ahol E_{ik} jelöli az i és k folt típusok közötti teljes szegélyt, míg m jelöli a teljes foltszámot. Az IJI mérőszám által a keveredés mértéke százalékos formában kerül megadásra. Alacsony értékeket a felszínborítási folt típusok aránytalan szóródása vagy elkülönülése esetén mutat, míg a legnagyobb érték akkor jelentkezik, ha minden felszínborítási folt érintkezik minden további folt típusba tartozó folttal (McGarigal és Marks 1995; Lopez és Frohn 2017).

- **Shannon-féle Diverzitási Index (SHDI)**, amely táji szinten került kiszámításra. A mérőszám alapján következtethetünk a táj szerkezetének sokszínűségére.

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)$$

ahol P_i jelöli az adott i folttípus területarányát, míg az m jelöli a folttípusok számát. Ha a vizsgált tájat mindössze egy darab folt képezi, akkor az SHDI értéke 0, ez az érték pedig fokozatosan növekszik a foltok számával és azok területarányával. A mérőszám értékének felső korlátja nincs (Hill 1973; McGarigal és Marks 1995).

- **Class Area (CA_F)**, amely alapesetben egy osztályszintű mérőszám, jelen vizsgálatban kizárólag az erdőfoltok területére számítottuk ki. A vizuális interpretáció során megfigyeltem, hogy a kiindulási, 1956-os időpontban mindössze néhány darab folt reprezentálta az erdőket, majd a mederfejlődéssel párhuzamosan jelentősen megnövekedett ezek száma és mérete is. Mindezek alapján úgy gondoltam, hogy az erdőfoltok területnövekedése a vizsgált terület tájváltozásának egy további indikátora lehet. A mérőszám százalékban fejezi ki az erdőfoltok területének arányát a vizsgált területhez viszonyítva.

4.8. Statisztikai elemzés

4.8.1. A rész-szakasz lehatárolásának és a horizontális medermorfometriai paraméterek statisztikai elemzése

Az egyes medermorfometriai paraméterek, a parterózió, a laterális mederelmozdulás és a hidrológiai adatok közötti kapcsolatokat szorosságát Spearman-féle rangkorreláció alapján határoztam meg.

Statisztikai elemzéseim, másik fő célja volt megvizsgálni, hogy az általam, részben szubjektív módon, lehatárolható rész-szakaszok ténylegesen elkülönülnek-e egymástól, ha megvizsgálom a kanyarulat- és szakasz-szintű morfológiai tulajdonságaikat. Ennek érdekében a teljes korrelációs mátrixot felhasználva standardizált főkomponens analízist (Principal Component Analysis – PCA) alkalmaztam. Az adat-elemzésbe 11 változót vontam be 7 időszakra vonatkozóan (1952-1956, 1956-1975, 1975-1980, 1980-1988, 1988-2000, 2000-2005 and 2005-2011) minden rész-szakasz esetén. Alapvetően kétféle adattípusra vonatkozott az elemzés: egy adott évről számított morfometriai paraméter (pl. húr hossz), míg a másik típus esetén egy változást jelölő érték két egymást követő időszakra meghatározva (pl. parterózió mértéke). Ez alapján kihagytam a számításból az 1952-re vonatkozó egyedi értékeket, ugyanis az első eróziós ráta meghatározza csak az 1952-1956 közötti időszakra lehetséges, így az első időszak a PCA során 1956 volt. A számításba bevont paraméterek listáját a 8. táblázat mutatja.

8. táblázat: A statisztikai elemzésbe bevont morfológiai paraméterek

CH	Átlagos húr hossz (méter)
AM	Átlagos amplitúdó (méter)
BE	Átlagos ívhossz (méter)
WI	Átlagos mederszélesség (méter)
MSI	Átlagos kanyargóssági index a kanyarulatok alapján
TSI	Rész-szakasz teljes kanyargóssága
TER	Teljes erodált terület (ha/év/fkm)
TAC	Teljes akkréciós terület (ha/év/fkm)
SHI	Átlagos mederelmozdulás (m/év/fkm)
NBE	Kanyarulatok száma
MEA	Meanderek összhossza (km)

A kiugró értékek kezelése érdekében az adatokat standardizáltam, majd Varimax rotációval rendeztem az ortogonális és nem korreláló főkomponenseket (PC - Principal Components). Az illeszkedés jóságát az eredeti adatok felhasználásával számított korrelációs mátrix reziduáljai illetve a PCA-modell alapján meghatározott reziduális négyzetes középérték (Root Mean Square Residual, RMSR) segítségével határoztam meg (Basto és Pereira 2012). A 0,1 alatti RMSR értékek jó illeszkedésre utalnak. Az adatpontokat egy biplot ordinációs diagramra vetítettem, melyen a számításba bevont változók korreláció-struktúrája (változók sajátvektorai) valamint a bemeneti adatok eloszlása (főkomponensek sajátértékei) egyidőben vizsgálható egy többváltozós térben. Ezt követően a "természetes" és "antropogén" besorolású rész-szakaszok közötti különbségeket hipotézis-vizsgálattal hasonlítottam össze. Ehhez a robosztus Mann-Whitney-tesztet alkalmaztam, Monte Carlo permutációval kombinálva, 599 ismétlést lefuttatva. A nullhipotézisem (H_0) az volt, hogy a két rész-szakasz típus mediánjai nem különböznek szignifikánsan egymástól, míg az ellenhipotézis (H_1) szerint szignifikáns különbség van. A p-értékeken kívül a hatásnagyság, mint standardizált eljárás, is kiszámításra került. Mindezek alapján a különbségek terjedelme összehasonlítható mértékűnek bizonyult.

A statisztikai elemzéseket R 3.5.3 szoftver (R Core Team, 2019) és a *psych* (Revelle 2018) and *WRS2* (Mair and Wilcox 2018) beépülő modulok felhasználásával, valamint SPSS 17, illetve Past 3.24 (Hammer et al. 2001) szoftverek segítségével végeztem.

4.8.2. A kanyarulatfejlődés ökológiai vonatkozásaihoz kapcsolódó statisztikai elemzés

Az alapvető leíró statisztikai vizsgálatot követően megvizsgáltam a mederfejlődésre vonatkozó indexek (Kanyargóssági index – SI; Erodált terület – Er; Akkréciós terület – Acc) valamint és tájmetriai mérőszámok indexek közötti kapcsolatokat is, ehhez regresszió-analízist és főkomponens-analízist (Principal Component Analysis – PCA) alkalmaztam. Míg a regresszió-analízis közvetlenül az egyes változók és a felszínváltozás időbeli jellegére és töréspontjaira világít rá s ad értékes többletinformációkat, addig a főkomponens-analízis azoknak az éveknak a kijelölését teszi lehetővé, ahol a tájváltozás és a folyó mederfejlődése között determinisztikus kapcsolat mutatkozik.

A korrelációs mátrix felhasználásával a 4.8.1. fejezetben már ismertetett módon standardizált főkomponens-analízist (PCA) végeztem (Davis 1986; Kaiser 1958). Az elemzésbe egyaránt bevontam a PD, CA_F, IJI, SHDI tájmetriai indexeket valamint az Er, Acc és SI mederfejlődési indexeket, így egy biplot diagramon ábrázolva lehetővé vált a változók közötti kereszt-kapcsolatok azonosítása valamint az egyes tájváltozási időszakok vizualizációja is. A modell illeszkedését az átlagos reziduális kovariancia (Root Mean Square Residual - RMSR) alapján értékeltem. Az RMSR meghatározása az eredeti korrelációs mátrix reziduáljait és a PCA becslését felhasználva történik, s értéke alapján kimutatható, hogy mekkora a modell által nem magyarázott variancia-hányad (Joreskog és Sorbom 1993; Hajdú 2003). A 0,05 alatti RMSR értékek kiváló illeszkedésre utalnak (Basto és Pereira 2012).

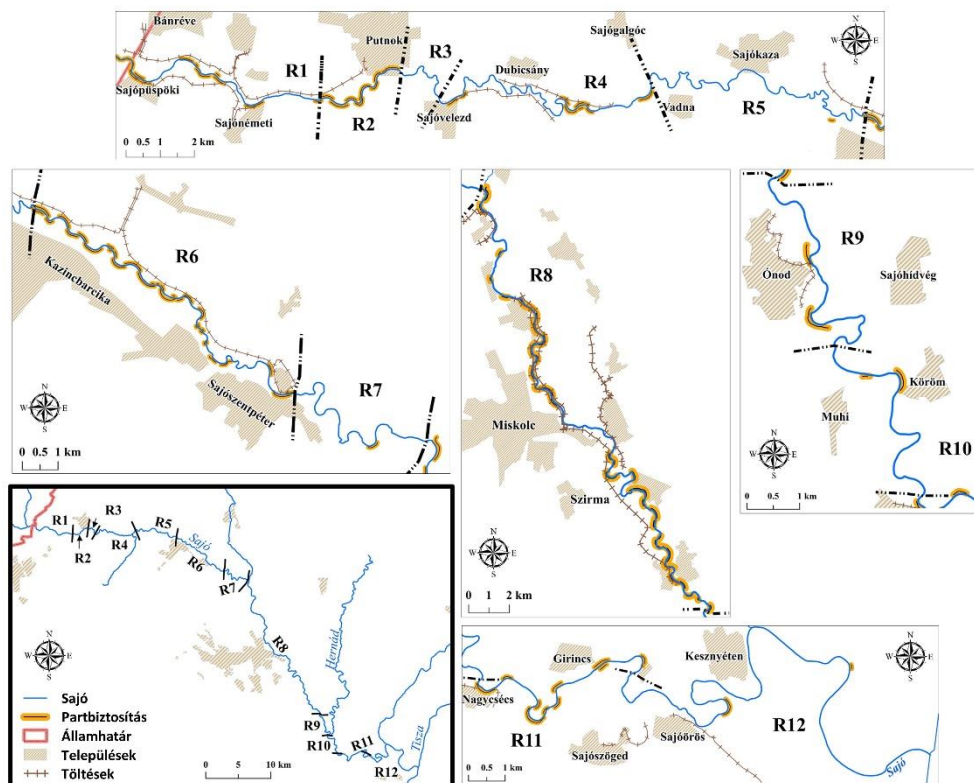
A Sajó mederváltozásában esetlegesen megmutatózó trend feltárása érdekében Jonckheere-Terpstra-tesztet alkalmaztam. A statisztikai elemzéseket Past 3.19 (Hammer et al. 2001) és az R 3.5 (R Core team 2018) szoftverekben végeztem, utóbbi esetén a *psych* (Revelle 2018) és *GPArotation* (Bernaards és Jennrich 2005) bővítmény-csomagokat is felhasználtam az adatelemzéshez, míg az eredmények vizualizációja a *lattice* (Sarkar 2008), *clinfun* (Seshan 2018) és *ggplot2* (Wickham 2009) bővítményekkel történt.

5. Eredmények

5.1. A Sajó hosszútávú mederdinamikai vizsgálatának eredményei

5.1.1. Rész-szakaszok lehatárolása

A medermorfológia alakulását befolyásoló lokális változók részletes elemzése alapján 12 db önálló rész-szakaszt különíttem el (19. ábra).



19. ábra: Az elemzés során lehatárolt rész-szakaszok a Sajó mentén

Az egyes természeti és antropogén változók (völgyi korlátozottság, partfal összetétele, meder esése, töltések távolsága, partbiztosítással védett kanyarulatok aránya, korábbi kanyarulat-átmetszések, valamint betorkolló mellékfolyók) adatait megvizsgálva (9. táblázat) mindössze az R3, R5, R7, R9, R10 és R12 rész-szakaszok sorolhatók a „természetes” állapotú típusba, ugyanis ezek mentén volt megfigyelhető a legkisebb mértékű antropogén beavatkozás a Sajó medrébe. Ezen szakaszok teljes hossza 51,3 km, ami a Sajó hazai szakaszának 41,7%-át adja.

A legelső általam elkülönített rész-szakasz (**R1**: 117,1–125 fkm) a Szlovák-Magyar határtól 7,9 km távolságig tart, mely mentén a Sajó medrének futását leginkább az Upponyi-hegység északi előtere valamint árvízvédelmi töltések korlátozzák.

9. táblázat: A vizsgálat során lehatárolt rész-szakaszok és azok jellemzői az egyes befolyásoló tényezők esetén

Szakasz-azonosító	Szakasz hossza (km)	Völgyi korlátozottság	Partfal összetétele	Meder esése (m/km)	Töltések távolsága (m)	Partbiztosítással védett kanyarulatok aránya (%)	Átmetszett kanyarulatok teljes hossza (km)	Mellékfolyók	Kanyarulatok száma
R1	7,9	részben	összetett (főként kohézív)	0,39	közel	65,82	1,31	2 kisebb patak	17
R2	3,2	részben	kohézív	0,69	nincs töltés	88,13	2,54	-	9
R3	2,2	nincs	kohézív	0,64	nincs töltés	-	-	-	11
R4	10,2	töltések által korlátozva	összetett	0,51	közel	27,84	1,85	-	34
R5	10,8	nincs, de egy rövid szakaszon közel a lakott terület	kohézív	0,53	csak az utolsó 3 km mentén, 200 méterre	1,11	0,62	1 nagyobb patak	44
R6	11,6	töltések által korlátozva	kohézív	0,58	közel	94,57	11,73	2 nagyobb patak	34
R7	7,4	nincs, de egy rövid szakaszon közel a lakott terület	kohézív	0,76	nincs töltés	4,05	-	-	19
R8	33,7	töltések és a közeli lakott területek által erősen korlátozva	összetett (főként kohézív)	0,66	közel	47,14	5,31	1 folyó és 1 patak	66
R9	5,9	nincs, de egy rövid szakaszon közel a lakott terület	összetett (főként nem kohézív)	0,46	közel egy 400 m szakaszon, a többi 3-700 m távol	21,53	-	-	15
R10	5,2	nincs	összetett (főként nem kohézív)	0,48	nincs töltés	10,19	1,89	1 folyó és 1 csatorna	11
R11	7,1	nincs	összetett (főként nem kohézív)	0,32	nincs töltés	49,58	-	-	10
R12	19,8	nincs	összetett (főként nem kohézív)	0,36	közel csak egy 500 m szakaszon	3,17	-	1 csatorna	32

A meder esése az R1 a rész-szakaszon kismértékű (0,39 m/km), az itt azonosított partfalak többnyire összetett, ill. kohézív szerkezetűek (20. ábra). A Sajóhoz itt csatlakozik be két kisebb mellékvíz, a Keleméri-patak, valamint a Hangony-patak. A vízügyi adatok alapján ezen a rész-szakaszon kimondottan magasnak tekinthető a partbiztosítás aránya (65,8%), ráadásul az 1952-es állapothoz viszonyítva két kanyarulat-átmetszés is azonosítható. Összesen 17 db kanyarulat alkotja. Folyásirányban vizsgálva az egymást követő háborítatlan kanyarulatok száma mindössze 4 db, ami az R1 rész-szakasz teljes hosszának 39,4%-át teszik ki.

Tovább haladva egy olyan 5,4 km hosszú szakasz következne, amely a rétegzettség szempontjából szinte kizárólag kohézív partfalakkal rendelkezik (21. ábra), azonban az emberi beavatkozások intenzitása és eloszlása alapján úgy ítélem meg, hogy két külön rész-szakaszra bontható. Ezek közül az első rész-szakasz (**R2**: 113,9–117,1 fkm) hossza 3,2 km, a meder futása részben korlátozott a domborzati adottságok által, az árvízvédelmi töltések távol helyezkednek el. Az **R3** rész-szakasz (111,7–113,9 fkm) medrét semmilyen külső tényező nem befolyásolja, teljesen szabadon fejlődik; ezzel ellentétben az R2 mentén fokozott partbiztosítást (88,1%) hajtottak végre, sőt 4 db korábbi kanyarulat is átvágásra került. Az R2 és R3 rész-szakaszok egyaránt nagyobb medereséssel rendelkeznek (0,64 és 0,69 m/km) az R1-hez képest, továbbá egyik mentén sem torkollik be mellékfolyó. A két rész-szakasz együttesen 20 db kanyarulatot tesz ki.



20. ábra: Partfalak az **R1** rész-szakasz mentén
(Sajópüspöki: 122,6 fkm - összetett; valamint Sajópüspöki: 122,3 fkm - kohézív)



21. ábra: Partfalak az **R2** és **R3** rész-szakaszok mentén
(Sajónémeti: 116,2 fkm - kohézív; valamint Sajóvelezd: 112,6 fkm - kohézív)

A Sajó következő, hosszabb kiterjedésű (10,2 km) rész-szakasza az **R4** (101,5–111,7 fkm), amely az adatok alapján egyaránt rendelkezik szabadon fejlődő valamint antropogén eredetű beavatkozások által bolygatott szakaszokkal. A többségében árvízvédelmi töltésekkel körbevett partfalak főként összetett szerkezetűek (22. ábra). Mindössze három korábbi kanyarulat-átvágás valósult meg, ráadásul a kanyarulatok partfalainak csupán 27,8%-a rendelkezik partbiztosítással. Ez tette lehetővé, hogy összesen 20 db természetes állapotú kanyarulat kapcsolódik össze; így az R4 rész-szakasz 64,3%-a szabadon fejlődő típusú.

A második leginkább természetes típusba sorolható rész-szakasz az **R5** (90,7–101,5 fkm), mely mindennemű völgyi korlátozottság nélkül kanyarog az árterén többnyire kohézív szerkezetű partfalakkal szegélyezve (24-25. ábrák); habár meg kell jegyezni, hogy egy 1,2 km hosszú szakaszon nagyon közel található Sajókaza településhez. A partfalakkal kapcsolatban a különböző kanyarulatok mentén elég szembeutó változékonyság azonosítható a szervesanyag-tartalom tekintetében (22-23. ábrák). Ez a szakasz továbbá szinte teljesen szabadon mozog, mindössze az utolsó három kilométeren van 200 méteres közelségben árvízvédelmi töltés. A partbiztosítás aránya csupán 1%, sőt egyetlen kanyarulatot vágtak át az évek alatt. Ez tette lehetővé, hogy 36 db összefüggő, természetes kanyarulatok láncolata fennmaradjon, így rész-szakasz 97,9%-a természetes besorolású, amihez 0,51 m/km mértékű mederesedés társul. A Bán-patak ebben a rész-szakaszban csatlakozik a Sajóhoz.



22. ábra: Partfalak az **R4** és **R5** rész-szakaszok mentén
(Vadna: 102,7 fkm - összetett; valamint Sajókaza: 93,6 fkm - kohézív)



23. ábra: Partfalak az **R5** rész-szakasz mentén
(Kazincbarcika: 90,9 fkm - kohézív; valamint Kazincbarcika: 93,7 fkm - kohézív)

Az **R6** rész-szakasz (79,1–90,7 fkm) lehatárolását egyértelműen az emberi beavatkozások határozták meg. Ez a rész-szakaszt tekinthetjük a legintenzívebben szabályozottnak, ennek oka, hogy itt helyezkedik el a térség jelentős ipari körzete: Kazincbarcikai Ipari Park, a BorsodChem Zrt. vegyipari gyára valamint a Berentei Ipari Körzet. A rész-szakaszon 19 db (!) kanyarulat átvágására volt szükség, hogy az árhullámok levonulása kellő intenzitással történjen. Emellett ezek a kanyarulatok szinte kivétel nélkül alapos, töltésekkel kiegészített partbiztosítás alá vannak vonva, így az arányuk 94,6%-os. A magasfokú védelmi beavatkozások hatására ezen a szakaszon korlátozott a Sajó kanyarulatainak fejlődése. A rész-szakasz hossza 11,6 km, főleg kohézív szerkezetű partfalakkal szegélyezve (24. ábra), míg a meder esése az előző, R5 rész-szakaszhoz hasonló mértékű (0,58 m/km). Mindössze 5 db egymást követő természetes kanyarulat van jelen a szakaszon, melyek alapján az R6 hosszának 15,8%-a tekinthető természetes állapotúnak. A Sajóhoz ezen a rész-szakaszon két nagyobb mellékvíz, a Tardona-patak és a Harica csatlakozik.

A kiemelkedően természetes besorolású rész-szakaszok közé tartozik az **R7** is (71,7–79,1 fkm), szintén kohézív szerkezetű partfalakkal (26. ábra), s a Sajó hazai szakasza mentén ezen a rész-szakaszon belül mérhető a legintenzívebb meder-esés (0,79 m/km). Az R7 szinte teljes egészében völgyi korlátozottságtól mentes, ráadásul árvízi töltések sem futnak a közvetlen közelében, azonban egy 1,6 kilométeres szakaszon Sajószentpéter határában halad. Az R7 rész-szakasz partbiztosításának mértéke mindössze 4%; ezáltal van olyan szakasza, amit 10 db összefüggő természetes kanyarulat alkot. Mindezek alapján ennek a 7,4 km hosszú rész-szakasznak a 84,8 %-a természetesnek mondható.



24. ábra: Partfalak az **R6** és **R7** rész-szakaszok mentén
(Vadna: 102,7 fkm - összetett; valamint Sajókaza: 93,6 fkm - kohézív)

A leghosszabb rész-szakasz (**R8**) kiterjedése 33,7 km (38–71,7 fkm). Az R6 után ez számít a második legintenzívebben módosított Sajó-szakasznak. Az összetett és többnyire nem kohézív szerkezetű partfalakkal felépülő kanyarulatok fejlődését a közeli árvízvédelmi töltések és a települések szegélyén létesített partbiztosítások (47,1%) korlátozzák. A vizsgált időszakok során 5 kanyarulat átmetszésére volt szükség. A 66 db kanyarulatból álló rész-szakasz teljes hosszának mindössze 32,3%-a számít természetesnek. A Sajó egyik legjelentősebb mellékfolyója, a Bódva, ill. Miskolc belterületén a Szinva egyaránt itt torkollik a mederbe. Az R8 rész-szakasz kezdetétől a partfalak sokkal inkább összetett majd többnyire nem kohézív

szerkezetűvé válnak (25. ábra), ráadásul a meder-esés mértéke csökkenő tendenciát mutat az R7 kezdetétől.

Az **R9** (32,1–38 fkm) esetén a meder-esés már csak mindössze 0,46 m/km. Habár Ónod település az R9 egy kis szakaszán elég közel fekszik, azonban a rész-szakasz jelentős része völgyi korlátozás nélkül fejlődik. A partbiztosítással védett kanyarulatok aránya 21,5%-os értéket mutat, viszont egyetlen korábbi kanyarulat-átmetszés sem történt a korábbi években, s így összességében ez a Sajó második leginkább természetes típusú rész-szakasza, mely mentén főként nem kohézív típusú (26. ábra) partfalak vannak többségben.



25. ábra: Partfalak az **R8** rész-szakasz mentén
(Sajópetri: 39,8 fkm – összetett; valamint Sajólád: 38,2 fkm – nem kohézív)



26. ábra: Partfalak az **R9** rész-szakasz mentén
(Ónod: 33,1 fkm - nem kohézív; valamint Ónod: 32,2 fkm - nem kohézív)

Az **R10** (26,9–32,1 fkm) már kevésbé természetes típusba sorolható (58,2%), mindössze négy összefüggő természetes kanyarulat található itt. A partbiztosított kanyarulatok aránya 10,2%, továbbá egy mesterséges átmetszés is történt a rész-szakaszon. A meder esése és a partfal összetétele (27. ábra) szinte teljesen megegyezik az R9 jellemzőivel, azonban itt nem fut települési közelségében a Sajó meder. A mederfejlődés szempontjából fontos tény, hogy ezen a rész-szakaszon torkollik a Sajóba annak legjelentősebb mellékfolyója, a Hernád, továbbá egy kisebb patak, a Szerencs-Takta is itt válik a vízrendszer részévé.

Az utolsó két rész-szakasz, az **R11** (19,8–26,9 fkm) és **R12** (0–19,8 fkm) összetett szerkezetű partfalakkal rendelkezik (28. ábra) egy teljes mértékben völgyi korlátozásoktól mentes ártéren, ahol a Tiszai torkolat közelségéből adódóan a meder

esése a legalacsonyabb értékeket mutatja (0,32 és 0,36 m/km) a Sajó hazai szakaszán. A két szakasz közötti különbség abból adódik, hogy az R11 teljes mértékben antropogén hatás alatt áll a korábbi partbiztosítások alapján, míg az R12 85,3%-os arányban természetes típusba sorolható.



27. ábra: Partfalak az **R10** rész-szakasz mentén
(Nagycsécs: 27,9 fkm - összetett; valamint Nagycsécs: 27,1 fkm - nem kohézív)



28. ábra: Partfalak az **R11** és **R12** rész-szakaszok mentén
(Kiscséc: 19,3 fkm – összetett; valamint Sajóörös: 16,9 fkm - összetett)

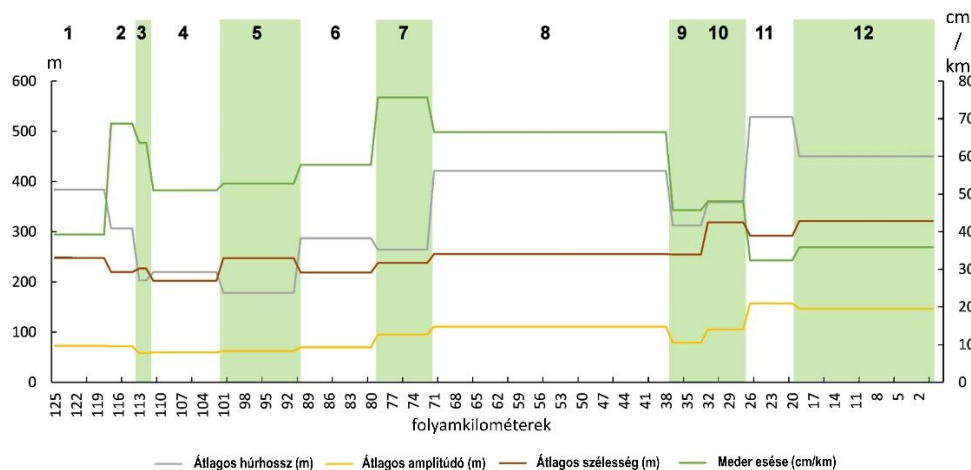
Az eredmények összesítését és a részletes terepi szemléket követően a tizenkét rész-szakaszt négy kategóriába soroltam (10. táblázat):

10. táblázat: A természeti és antropogén hatások alapján osztályozott rész-szakaszok kategóriái

Természetes	Enyhén módosított	Módosított	Intenzíven módosított
R3	R5	R4	R1
	R7	R11	R2
	R9		R6
	R10		R8
	R12		

5.1.2. A horizontális medermorfometriai paraméterek és emberi beavatkozás térbeli változékonysága

A Sajó hazai szakaszának hossz-szelvénye mentén vizsgálva, a medermorfometriai paraméterek számított értékei között jelentős változásokat azonosítottam (29. ábra).

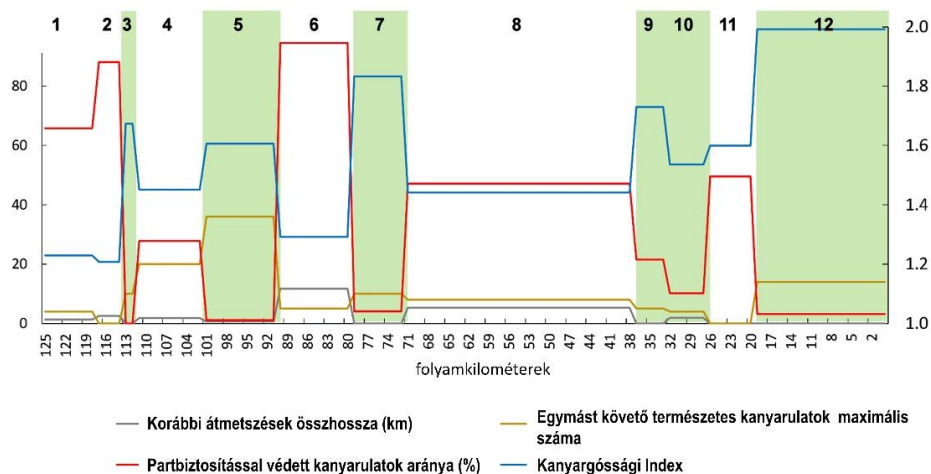


29. ábra: Horizontális medermorfometriai mutatók és a meder-esés térbeli változékonysága a Sajó hossz-szelvénye mentén (A félkövérrel szedett számok a rész-szakaszok sorszámát, míg a zöld sávok a "Természetes" és „Enyhén módosított” rész-szakaszok kiterjedését jelölik)

Az elemzést a legutolsó vizsgált időszak (2011) adatai alapján végeztem annak érdekében, hogy feltárjam a Sajó hazai szakaszára jellemző átfogó medermorfometriai sajátosságokat.

A meder esése 0,39 és 0,76 m/km szélső értékek között mozgott, a rész-szakasz határai között ugrásszerű emelkedésekkel és csökkenésekkel egyaránt. Az R2, R3, R7 és R8 rész-szakaszok mentén található a legnagyobb meredekségű mederlejtések, míg az R4-R6 és R9-R12 rész-szakaszok között inkább mérsékelt esést tapasztaltam. Az átlagos húr hossz, átlagos amplitúdó és átlagos mederszélesség tekintetében a töréspontot az R8 rész-szakasz kezdete jelentette, ettől kezdve mindhárom mutató értékei emelkednek, habár egy másik, inkább csökkenő szakasz megfigyelhető az R1 és R3 rész-szakaszok között is. Az átlagos amplitúdó és átlagos mederszélesség értékeiben mért növekmények (59,5 méterről 157,2 méterre, valamint 27 méterről 42,8 méterre) nem tekinthető monoton típusúnak, míg az átlagos húr hossz értékek esetén ez a növekedés sokkal inkább ingadozó lefutású (R1 – 384,1 m; R5 – 178,2 m; R8 – 421,1 m; R9 – 312,4 m).

Az antropogén eredetű változók esetén is ingadozó trendeket tapasztaltam a Sajó hossz-szelvénye mentén. Az 5.1.1. fejezetben részletes kifejtettem, hogy mely rész-szakaszokat érintették leginkább az emberi beavatkozások (pl. kanyarulat-átvágások, partbiztosítás, árvízvédelmi töltések). A 30. ábra alapján még a „természetes” és „enyhén módosított” kategóriájú rész-szakaszok között is megjelennek attól függően, hogy mekkora az összefüggő természetes kanyarulatok maximális száma egy-egy rész-szakasz esetén. A 30. ábrán a kanyargóssági index értékei a jobb szélső y-tengelyen, míg a többi érték a bal szélső y-tengelyen került ábrázolásra. Az R5 rendelkezik a legmagasabb összefüggő természetes szakasszal (36 db) az összes közül, azonban fontos megjegyezni, hogy ennek ellenére az átlagos húr hossz érték itt a legkisebb (178,18 m), ezáltal aránylag kis kanyarulatok a jellemzők ezen a rész-szakaszon.



30. ábra: Antropogén jellegű hatótényezők és a kanyargóssági index térbeli változékonysága a Sajó hossz-szelvénye mentén (A félkövérrel szedett számok a rész-szakaszok sorszámát, míg a zöld sávok a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszok kiterjedését jelölik)

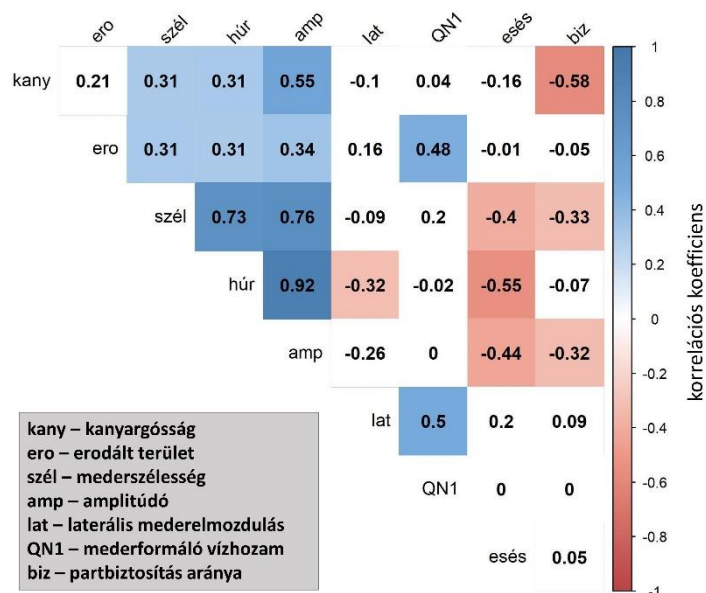
A kanyargóssági index értékei tekintetében a legmagasabb értékeket a „természetes” és az „enyhén módosított” besorolású rész-szakaszokon mértem, mindegyik esetén meghaladta az 1,5-öt, így mindegyik meanderező típusúnak számít. A legmagasabb kanyargósságot az R7 (SI=1,83), az R9 (SI=1,73) és az R12 (SI=1,99) esetén tapasztaltam, habár a néhány módosított és intenzíven módosított rész-szakasz is közelít a meanderező mederformához (R4–1,45; R8–1,44; R11–1,60).

Jelen morфомetriai mutatók közötti kapcsolat statisztikai vizsgálata során szerkesztett korrelogram (31. ábra) elemzése alapján megállapítottam, hogy negatív korreláció van a meder esése valamint egyaránt az átlagos húr hossz (r = -0,55), az átlagos amplitúdó (r = -0,44) és az átlagos mederszélesség között is (r = -0,4), ahogyan az a 29. ábrán is előzetesen azonosítható volt. Mindhárom morфомetriai mutató erősen korrelál egymással (r = ~0.7), ezek közül is a legszorosabb kapcsolat a húr hossz és az amplitúdó között van (r = 0.92). Ezek alapján megállapítható, hogy nagyobb esés mellé rövidebb valamint kevésbé tágas kanyarulatok társulnak. Végül fontos megemlíteni, hogy a partbiztosítás aránya és a kanyargósság között jelentős negatív korreláció azonosítható, tehát a nagyobb mértékű védelemmel ellátott kanyarulatok többnyire kisebb fejlettségűek.

5.1.3. A horizontális medermorфомetriai paraméterek időbeli változékonysága

Az előző fejezetben tárgyalt eredmények rávilágítanak arra, hogy a Sajó hossz-szelvénye mentén is eltérő térbeli különbségek vannak az egyes rész-szakaszok között, azonban a mederfejlődés dinamikájának jellemzéséhez sokkal inkább a rész-szakaszokként számított időbeli változékonyság adatai szükségesek.

A kanyarulatok *ív*hosszában végbement változások (32/a. ábra) alapján következtetni tudunk a mederfejlődés mértékeire is. Az ábrán látható százalékos értékek meghatározása úgy történt, hogy két egymást követő időszakban kiszámítottam az eltérést, majd százalékos formára váltottam.

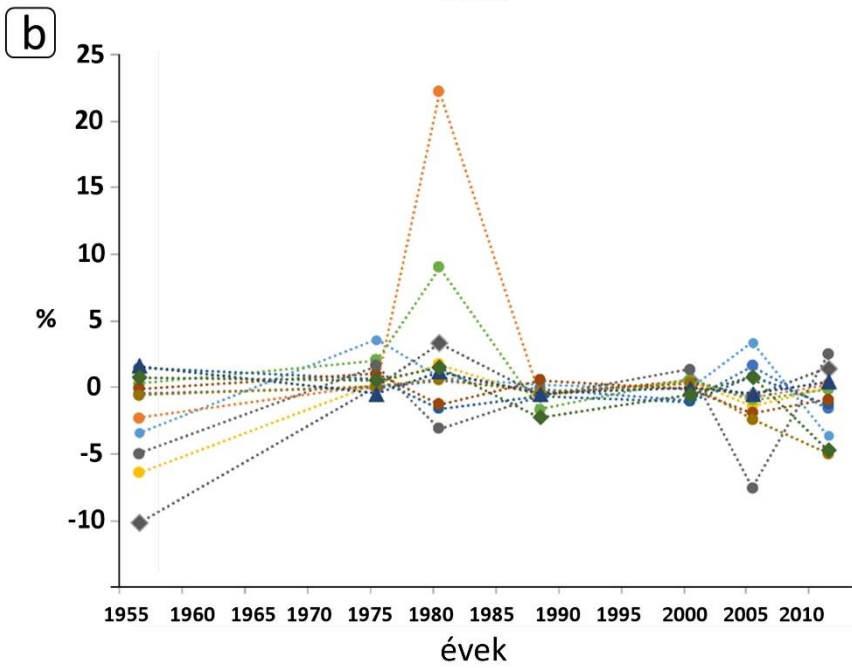
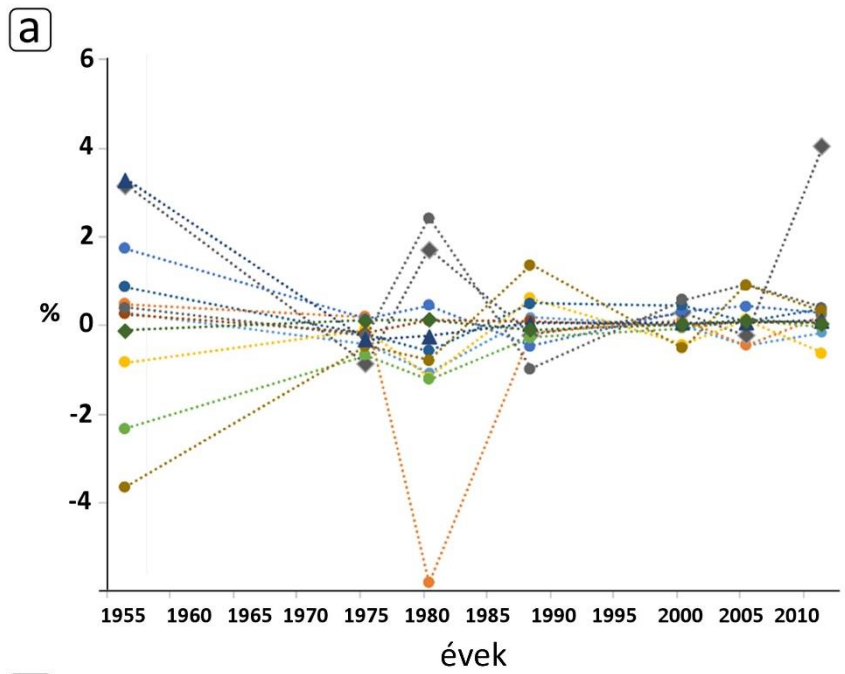


31. ábra: Az egyes medermorfometriai paraméterek, a parterrózió, a laterális mederelmozdulás és a hidrológiai adatok közötti korrelációk mértéke és a kapcsolat szorossága

Az időszakok időtartama erőteljesen ingadozó (4 évtől 19 évig terjed), ezért a százalékos értékektől az időszakok hosszával normalizáltam.

Az első vizsgált időszakban (1952-1956) az R4, R6, R10 kivételével a részszakaszok többsége mentén nőtt a kanyarulatok kiterjedése, valamint mindössze az R12 esetén csökkent némiképp. A legnagyobb hossz-növekedés az R3 esetén jelentkezett (12,7%) míg a legkisebb az R10 esetén történt, elérve a -14,6%-os értéket. Az 1975-1980 valamint az 1980-1988 közötti időszakokban egyaránt a kanyarulatok hosszának rövidülése dominált -12,9 és -29,1% közötti mértékben. 2000 és 2005 között az R5 rész-szakasztól folyásirányban lefelé, míg a legutolsó időszakban (2005-2011) már csak mindössze három rész-szakaszon történt rövidülés.

A kanyarulatok *átlagos húr*hossz-változásait a 32/b. ábra mutatja. Az első időszakban (1952-1956) a rész-szakaszok többségében csökkenő húr hossz-értékek jelentkeztek, kivéve az R6, R7, R11 és R12-t, azonban egyértelműen azonosítható, hogy ez a visszaesés az R1, R2, R3, R4 valamint az R9 rész-szakaszok mentén volt a legintenzívebb (-2,3%-tól -6,4%-ig). Kimagasló húr hossz-növekedés (22,2%) jellemezte az R2 valamint az R9 szakaszokat (9,0%) ebben az időszakban. Összességében megállapítható, hogy a vizsgált időszak kezdete (1952) és vége (2011) között mindössze négy rész-szakasz esetén (R1, R2, R6 és R11) történt húr hossz-növekedés, ezek közül is a legkiemelkedőbb (19,4%) mértékű az R2 mentén zajlott le.



..... R1 R2 R3 R4 R5 R6
 R7 R8 R9 R10 R11 R12

32. ábra: Horizontális medermorfometriai mutatók időbeli változékonysága.
 (a) teljes ívhossz; (b) átlagos hűrhossz

A rész-szakaszok többségében tehát sokkal inkább csökkentek a húr hossz értékek, főleg az R9 (-10,8%), R10 (-7,1%), R3 (-5,9%) és az R4 (-5,8%) esetén, míg a maradék rész-szakaszokon ez a visszaesés -1 és -3,9% között alakult.

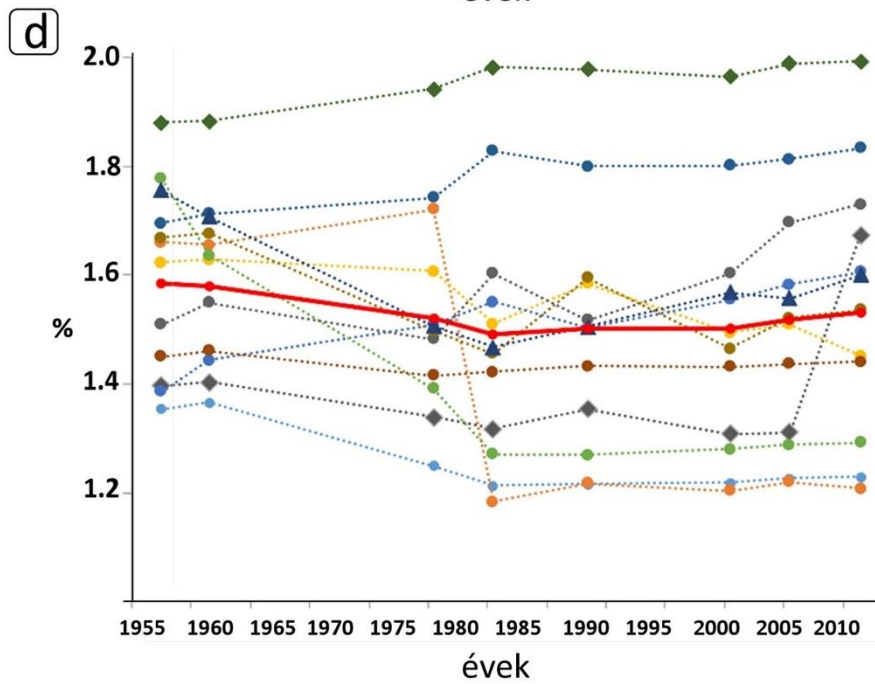
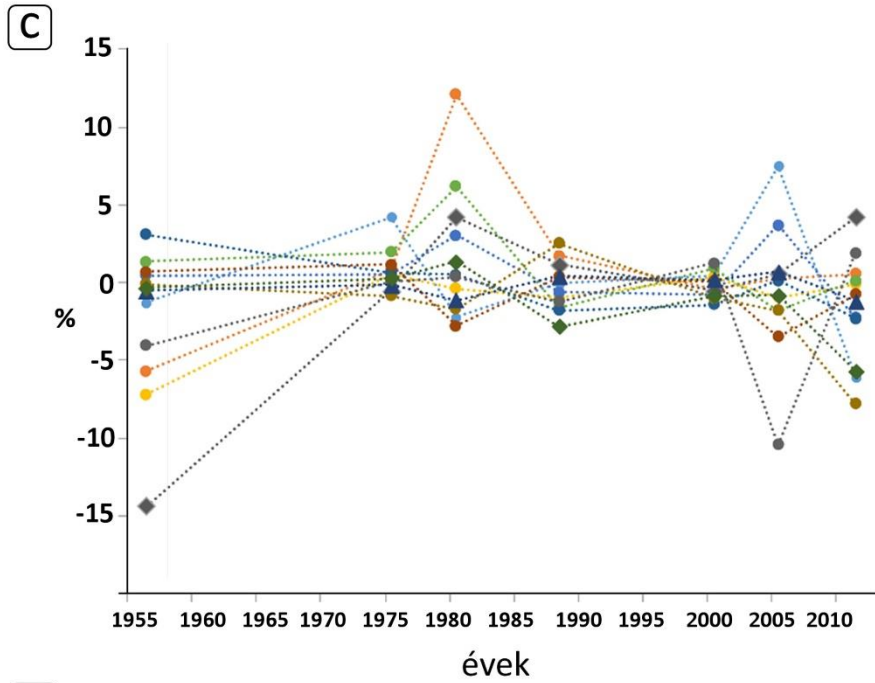
A kanyarulatok *átlagos amplitúdó*-értékeinek időbeli alakulása alapján (33/c. ábra) megállapítható, hogy folyásirányban az első négy rész-szakaszon drasztikus visszaesés történt 1956-ig, főleg az R3 esetén (-14,4%), míg az R5, R6, R7 és R8 mentén sokkal inkább mérsékeltebb dinamika jellemző, enyhe növekedéssel (0,5-től 3,1%-ig terjedően). Folyásirányban az utolsó három rész-szakasz negatív trendet követett mindössze -0,1% és -0,3% mértékben, csupán az R9 mutatott ezeknél kisebb, -4%-os visszaesést. A változások között éles ellentétek is megmutatkoztak a 2000-től 2005-ig terjedő időszakban: folyásirányban felsőbb szakaszokon, leginkább az R1 esetén jelentős amplitúdó-növekedés (7,5%) történt, míg folyásirányban már sokkal lentebb, az R9 rész-szakaszok mentén már -10,4%-os csökkenést is kimutattam. Az utolsó vizsgált időszak során (2005-2011) a legnagyobb értékek amplitúdó-visszaesésekhez köthetők: R1 (-6,1%), R10 (-7,8%) valamint R12 (-5,7%). A kiindulási és végső átlagos amplitúdó-értékek alapján megállapítottam, hogy a változások során főként csökkenés jellemzi a Sajó rész-szakaszait, melyek közül az utolsó hat mentén történt a legintenzívebb visszaesés.

A kanyargósság értékeit minden egyes rész-szakaszra, valamint általánosan a hazai Sajó-szakaszra is kiszámítottam minden évben, az eredményeket a 33/d. ábra szemlélteti. Az adatok alapján megállapítható, hogy a kanyargósság időben kevésbé változékonnyal rendelkezik az előzőekben tárgyalt morфомetriai mutatókkal ellentétben. A rész-szakaszok kiindulási és végső állapota közötti eltérések minimálisak (R3: +0,3% valamint R6: -0,5%). Az eredményeim azt mutatják, hogy a jelentősebb pozitív/negatív irányú változások az 1952-1956, 1975-1980 valamint a 2000-2005 közötti időszakokban jelentkeztek.

A magyarországi Sajó-szakasz tekintetében a kanyargósság mértéke csökkenő tendenciát mutatott 1980-ig, majd megindult egy fokozatos növekedés, s a folyó hazai szakasza mindezek alapján továbbra is meanderező típusba (SI=1,53) sorolható.

A kanyargóssági index nem csupán egy adott rész-szakasz fejlettségének jellemzésére alkalmas, hanem értelmezhető önálló kanyarulatok értékelésére is. A kanyarulatok fejlettségét értelemszerűen a kanyarulatok hosszának és húr hosszának hányadosa adja meg. Ezt a *kanyarulat-fejlettségi* hányadost a hazai Sajó szakasz minden egyes kanyarulatára egyenként kiszámítottam, minden egyes vizsgált időszakban. Az eredmények összegzése a 12. táblázatban található, ahol a könnyebb értelmezhetőség érdekében a kanyarulatokat négy fejlettségi kategóriába soroltam.

A kanyarulatok számának alakulása szempontjából (12/a táblázat) kiemelkedő változásokat azonosítottam az általam meghatározott adatok alapján a teljes vizsgálatot lefedő időszak során. A legmarkánsabb mennyiségű kanyarulatszám az 1,05 és 1,25 közötti kanyargóssági indexszel értékelt kategória rendelkezik (~ 90-120 db időszakonként). A szinte „egyenes” fejlettségi típusba tartozó (SI < 1,05) kategória esetén azonosítottam a második legtöbb kanyarulatot körülbelül 25% körüli részesedéssel (a legmagasabb aránya 1956-ban volt: 30,2%).



..... R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7
 R8 R9 R10 R11 R12 ——— total

33. ábra: Horizontális medermorfometriai mutatók időbeli változékonysága.
(c) átlagos amplitúdó; (d) kanyargóssági index

A „meanderező” típusú kanyarulatok ($SI > 1,5$) hasonló, bár némileg kisebb arányt képviselnek az össz-kanyarulatszámából (~ 40-60 db), továbbá a darabszámaik szórása is csekélyebb.

Az egyes fejlettségi típusokba tartozó kanyarulatok mennyiségi eloszlása mellett a bennük foglalt kanyarulatok teljes hossza alapján (12/b táblázat) is kimutattam különbségeket. Ebben a tekintetben is az ' $1,05 < SI < 1,25$ ' kategória dominál (~ 38-48 km), ráadásul az ebbe a kategóriába sorolható kanyarulatok hosszának aránya 6,3%-os növekedést ért el a teljes vizsgált időszak végéig. Jóllehet a rangsor második csoportjába a „meanderező” kategória ($SI > 1,5$) tartozik, azonban ezeknek a kanyarulatoknak a teljes hossza 1975-től kezdődően 39,19 km-ről 27,09 km-re csökkent (-9,6%) 2011-re. A fentiekben említésre került, hogy a kanyarulatok számának eloszlását illetően az „egyenes” kategória tekinthető a második legnagyobb arányú típusnak, azonban az így besorolt kanyarulatok össz-hossza esetén már nem számít kiemelkedőnek. A részesedésük mindössze 13-16% körül mozgott a vizsgált időszakokban.

Fontosnak tartjuk kiemelni, hogy az egyes fejlettségi típusokba tartozó kanyarulatok teljes hossza esetén számottevő különbségek vannak a rész-szakaszok időbeli változás-dinamikájában. A parterózió káros hatásai a szakirodalom alapján leginkább az intenzíven kanyargó mederszakaszokon érvényesülnek, így a „meanderező” kategória hosszváltozásait tárgyaljuk a továbbiakban (11. táblázat), míg a másik három kategória részletes eredményei az 1. mellékletben kerültek feltüntetésre.

11. táblázat: A Sajó menti meanderek teljes hossza a vizsgált időszakokban (a szürke sávok a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszokat jelölik)

	Meanderek teljes hossza (km)								Teljes változás (km)
	1952	1956	1975	1980	1988	2000	2005	2011	
R1	0,95	0,98	0,27	0	0	0	0	0	-0,95
R2	1,14	0,44	0,99	0	0	0	0	0	-1,14
R3	0,62	0,29	0,00	0,41	0,78	0	0,36	0,66	0,04
R4	3,85	3,44	4,44	2,91	3,04	2,82	2,53	2,91	-0,94
R5	1,25	2,05	2,54	4,47	4,26	5,34	5,82	5,63	4,38
R6	3,00	2,20	1,76	0,27	0,42	0,50	0,67	0,73	-2,27
R7	3,75	4,09	3,77	3,79	3,12	4,48	3,60	4,15	0,40
R8	3,54	5,68	6,00	3,99	6,41	4,63	5,22	4,16	0,62
R9	1,95	1,97	1,79	1,87	1,64	1,14	0,95	1,19	-0,76
R10	3,95	3,47	2,33	1,50	2,39	0,87	2,21	0,58	-3,38
R11	2,15	3,00	2,74	2,38	2,66	2,69	2,70	2,59	0,44
R12	13,86	9,93	12,96	9,75	9,03	8,53	8,33	5,73	-8,13

Az R5 rész-szakasz mentén egy kimagasló (4,38 km) hossz-növekedés zajlott le, a többi rész-szakasz többségére inkább a meanderek rövidülése volt a jellemző, főleg az R6 (-2,27 km), R10 (-3,38 km) és az R12 (-8,13 km) esetében.

12. táblázat: A Sajó kanyarulatainak megoszlása a különböző fejlettségi kategóriákban

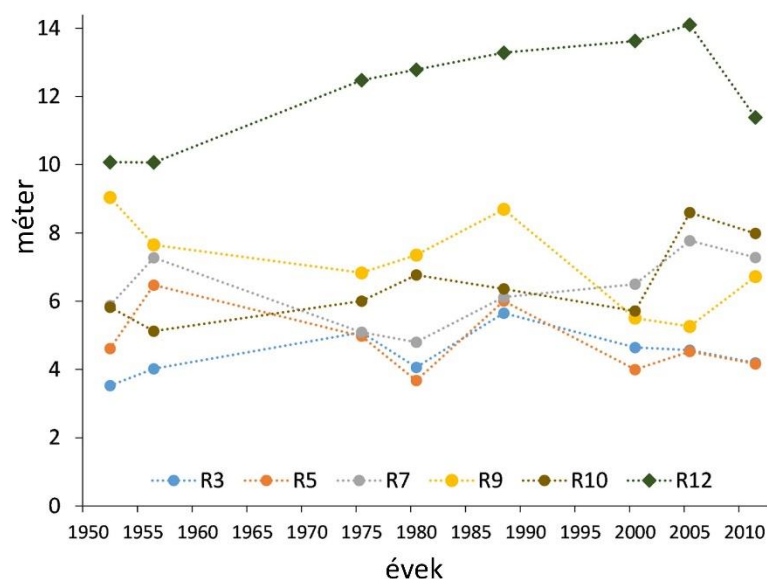
a)	SI < 1,05		1,05 < SI < 1,25		1,25 < SI < 1,5		SI > 1,5		Kanyarulatok száma összesen (db)
	Kanyarulatok száma	Adott év százaléka	Kanyarulatok száma	Adott év százaléka	Kanyarulatok száma	Adott év százaléka	Kanyarulatok száma	Adott év százaléka	
1952	82	25,6	114	35,5	68	21,2	57	17,8	321
1956	103	30,2	126	37,0	56	16,4	56	16,4	341
1975	65	23,6	106	38,4	53	19,2	52	18,8	276
1980	62	25,2	94	38,2	48	19,5	42	17,1	246
1988	64	24,8	99	38,4	47	18,2	48	18,6	258
2000	65	24,8	110	42,0	41	15,7	46	17,6	262
2005	66	24,0	109	39,6	49	17,8	51	18,6	275
2011	87	28,8	110	36,4	53	17,6	52	17,2	302

b)	SI < 1,05		1,05 < SI < 1,25		1,25 < SI < 1,5		SI > 1,5		Kanyarulatok teljes hossza (km)
	Teljes hossz (km)	Adott év százaléka	Teljes hossz (km)	Adott év százaléka	Teljes hossz (km)	Adott év százaléka	Teljes hossz (km)	Adott év százaléka	
1952	18,60	14,4	38,42	29,8	31,39	24,4	40,52	31,4	128,92
1956	19,65	15,3	42,65	33,1	28,96	22,5	37,48	29,1	128,74
1975	16,36	13,2	41,89	33,8	26,41	21,3	39,19	31,6	123,86
1980	17,33	14,3	41,65	34,3	31,99	26,3	30,61	25,2	121,57
1988	17,98	14,8	44,01	36,1	27,64	22,7	32,27	26,5	121,90
2000	17,56	14,4	48,04	39,3	26,98	22,1	29,64	24,3	122,22
2005	18,14	14,7	44,12	35,9	29,74	24,2	31,07	25,3	123,06
2011	19,89	16,0	44,74	36,1	32,25	26,0	27,09	21,9	123,97

Összességében a legutolsó időszak adatai alapján megállapítható, hogy a leghosszabb meanderező szakaszok az R5, R7, R8 és R12 szakaszokhoz tartoznak, melyek mentén egyaránt elérik a 4-5 kilométeres kiterjedést.

A második fejlettségi kategóriában ($1,5 > SI > 1,25$) mindössze három részszakasz (R5, R7, R11) tekinthető többnyire stabilnak, ahol mindössze 40-90 méternyi hosszváltozás történt a kiindulási és végső állapot értékei között (1. melléklet). Az utolsó két fejlettségi kategória esetén ($SI < 1,25$) az eredményeink csekély változékonyságot mutatnak. Kimagasló hossz-növekedést, ill. csökkenést nem azonosítottam, az teljes változás mértéke mindkét kategóriában vizsgálva, minden részszakasz esetén sem nagyobb, mint 2,72 km. A kanyarulatok hosszában mérhető legkisebb mértékű változékonyság az 1,05 kanyargóssági indexnél alacsonyabb fejlettségi kategóriához tartozik, ami lényegében teljesen egyenes mederforma.

Az átlagos görbületi sugár (szélességgel normalizált) értékek esetén kizárólag a „Természetes” és „Enyhén módosított” részszakaszok eredményeit vettem figyelembe (34. ábra). A többi részszakasz mentén sokkal kisebb kanyargóssági indexszel rendelkező vagy akár az egyenes formához közelítő kanyarulatok vannak többségben, ezek pedig extrém magas görbületi sugár-értékeket eredményeznek.



34. ábra: Az átlagos görbületi sugár (szélességgel normalizált) változásai a vizsgált időszakokban a „Természetes” és „Enyhén módosított” típusú részszakaszok mentén

Az eredmények alapján mindössze két részszakasz esetén (R5 és R9) történt csökkenés a görbületi sugár értékekben, ezek közül is leginkább az R9 mentén (-2,32 m). A többi részszakasz értékei növekedtek, főleg az R10, ahol elérte a +2,16 méteres mértéket.

5.1.4. Laterális mederelmozdulás

A Sajó medrének átlagos oldalirányú (laterális) elmozdulásának részletes eredményeit a 13. táblázat mutatja.

Összességében megállapítható, hogy az 1952-1956 valamint az 1975-1980 közötti időszakok a meder-elmozdulások tekintetében kiemelkedően aktívnak bizonyultak a többi időszakhoz képest. Ezekben az időszakokban több, mint kétszer olyan mértékű oldalirányú eltolódást mértünk (7-9 m/év/fkm; a többi szakaszon 2-4 közötti értékek), ill. mindkét időszakban a teljes mederre vonatkozóan a jobbparti elmozdulás volt inkább jellemző. Mindkét időszakot egyaránt a mederelmozdulás intenzív csökkenése követte (-6,69 m/év/fkm 1975-re, valamint -4,99 m/év/fkm 1988-ra). 2000-2005 között a változás trendje már enyhe növekedésbe (~64%) fordult, végül egy igen kismértékű újabb csökkenéssel (~7%) zárult 2005-2011 között. Az átlagos laterális elmozdulás iránya a vizsgált időszakokban ingadozó volt. A jobbparti és balparti irányokba történő elmozdulás arányai az átlagot tekintve közel vannak egymáshoz, két időszakban jelentkezett a legnagyobb eltérés: 1956-1975 (54%-ban balparti irányú) és 2005-2011 (53%-ban jobbparti irányú).

Az eredmények rész-szakaszokra történő lebontása tekintetében jelentős eltérések mutatkoznak. Az első vizsgált időszak során (1952-1956) az R2, R3, R6 és R9 rész-szakaszok mentén mértünk kimagasló elmozdulásokat, egyaránt 11 m/év/fkm feletti mértékben. A legmagasabb (R3) és legalacsonyabb (R12) elmozdulással rendelkező rész-szakaszok között számottevő eltéréseket mutattam ki: 17,94 valamint 3,77 m/év/fkm. A következő (1956-1975) időszakban a négy leginkább elmozdulással érintett rész-szakasz továbbra is az R2, R3, R6 és R9 maradtak, habár az átlagos értékük 3,5-5 m/év/fkm értékig csökkent, továbbá az elmozdulások iránya az ellentétes irányba váltott át, az R9-et kivéve. 1975 és 1980 között az R3 rész-szakasz elvesztette korábbi legmagasabb elmozdulású pozícióját, ugyanis az R2 laterális elmozdulásának mértéke erre az időszakra elérte az R3 hatszorosát, továbbá az R5 és R10 is intenzívebb értékeket mutatott. Az 1980-1988 és az 1988-2000 közötti időszakok egy mérsékelt mértékű 20 éves periódust takarnak, ugyanis a legmagasabb elmozdulási érték is csak 4-4,5 m/év/fkm volt. 1980 és 1988 között a három legaktívabb rész-szakasznak az R3 (3,18 m/év/fkm), az R5 (3,63 m/év/fkm) illetve az R10 (4,59 m/év/fkm) bizonyult. A következő 12 éves periódus (1988-2000) során még ennél is csekélyebb mértékűre csökkent az oldalirányú elmozdulás. Az R1, R2, R8, R11 és R12 esetén egyaránt mindössze 1,5m/év/fkm értékeket mértünk, míg az ennél aktívabb rész-szakaszok mentén sem érte el a 4 métert évente (R3 – 3,37 m/év/fkm; R9 – 3,38 m/év/fkm). A 2000 és 2005 közötti időszakra az aktív elmozdulásokat mutató rész-szakaszokat már csak az R3, R9 és R10 képviselte 4,93; 6,8 valamint 5,22 m/év/fkm intenzitással. Az utolsó vizsgált időszak idején az R3 rész-szakasz mentén kimagasló elmozdulás történt, a 6,84 m/év/fkm érték közel kétszerese volt a teljes Sajó meder átlagos elmozdulásának. Ezen kívül az R5 és R10 elmozdulási értékei mutattak még a többihez képest nagyobb intenzitást.

13. táblázat: Az átlagos laterális mederelmozdulás értékei, valamint az elmozdulások irányai a vizsgált időszakokban

	1952-1956			1956-1975			1975-1980			1980-1988			1988-2000			2000-2005			2005-2011		
	E	J	B	E	J	B	E	J	B	E	J	B	E	J	B	E	J	B	E	J	B
R1	6,25	59	41	1,99	59	41	4,37	36	64	1,73	44	56	1,21	63	37	2,28	47	53	2,09	39	61
R2	14,21	55	45	3,41	49	51	21,63	72	28	1,84	37	63	1,06	63	37	2,25	71	29	2,35	37	63
R3	17,94	34	66	5,02	56	44	5,62	17	83	3,18	33	67	3,37	44	56	4,93	51	49	6,84	51	49
R4	6,86	47	53	1,91	39	61	7,11	40	60	2,81	39	61	2,88	60	40	3,30	56	44	3,10	43	57
R5	5,99	40	60	2,31	49	51	9,75	40	60	3,63	44	56	3,24	47	53	3,87	52	48	4,59	43	57
R6	15,94	51	49	3,52	40	60	12,86	53	47	2,64	43	57	2,31	54	46	3,04	56	44	2,61	43	57
R7	6,44	43	57	0,69	74	26	3,79	40	60	1,61	73	27	2,47	36	64	4,01	55	45	4,03	52	48
R8	7,76	52	48	2,07	63	37	3,84	52	48	2,37	47	53	1,51	50	50	2,97	43	57	2,60	53	47
R9	11,60	47	53	3,65	47	53	8,08	42	58	2,83	45	55	3,38	44	56	6,80	51	49	3,85	43	57
R10	5,78	63	37	4,15	69	31	7,90	50	50	4,59	42	58	2,79	55	45	5,22	38	62	4,38	49	51
R11	4,84	33	67	1,34	52	48	3,31	51	49	1,87	43	57	1,40	52	48	2,96	51	49	2,96	55	45
R12	3,77	55	45	1,00	50	50	2,12	51	49	1,40	87	13	1,28	50	50	2,61	48	52	2,00	57	43
Átlag	8,95	48	52	2,59	54	46	7,53	45	55	2,54	48	52	2,24	51	49	3,69	52	48	3,45	47	53

5.1.5. Erózió és akkréció által érintett területek kiterjedése

A laterális meder-elmozdulás mellett a mederfejlődés által érintett területek kiterjedése is meghatározásra került, attól függően, hogy a kanyarulatok fejlődése és a meder-oldalirányú áthelyeződése során partpusztulás vagy ezzel ellentétes anyagfelhalmozódás történt. A Sajó hazai szakaszának fejlődését az előző fejezetekben foglaltak alapján, az egyes rész-szakaszok mentén eltérő mértékben emberi beavatkozások befolyásolják, ezért elengedhetetlen volt különbséget tenni a természetes és antropogén eredetű mederváltozások között. Abban az esetben, ha két egymást követő időpontban a meder új helyzete egy mesterséges kanyarulat-átmetszés eredményeként alakult ki, akkor az „Új természetes meder” valamint a „Felhagyott természetes meder” elnevezéseket használtam. A természetes eredetű kanyarulatfejlődés által előidézett meder-változások során az „Erózió” és „Akkréció” kifejezéseket alkalmaztam. Előbbi esetén, az esetek többségében a kanyarulatok külső ívén végbement laterális parterózió által érintett területeket, míg utóbbi esetén a kanyarulat belső ívén, a Sajó által lerakott hordalék felhalmozódásával és az övzátonyfelszín megépülésével kijelölt területeket jelöltem. A teljes hazai Sajó szakaszra számított erózió/akkréció mértékének eredményeit a 14. táblázat ismerteti.

14. táblázat: A Sajó hazai szakaszán végbement erózió/akkréció által érintett területek kiterjedése a vizsgált időszakokban

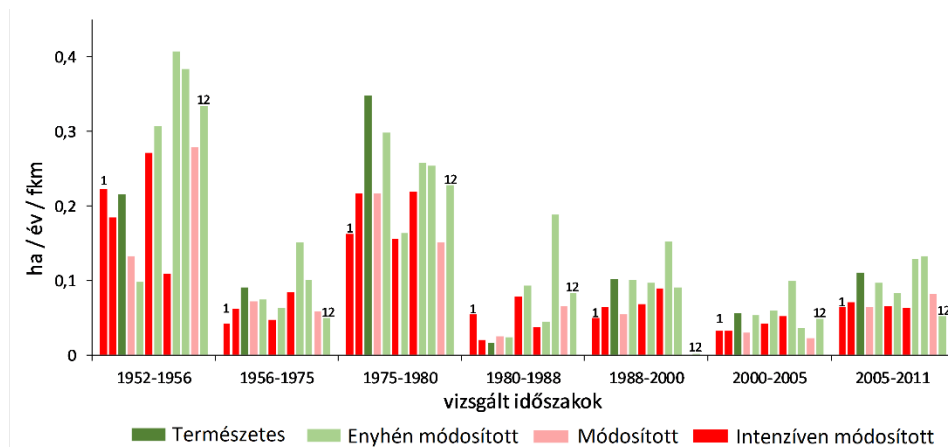
	Erózió (ha/év)	Új természetes meder (ha/év)	Akkréció (ha/év)	Felhagyott természetes meder (ha/év)	Teljes változás (ha/év)
1952-1956	31,81	5,92	45,05	8,30	91,08
1956-1975	9,01	1,27	7,19	1,65	19,13
1975-1980	27,05	2,30	28,09	4,43	61,88
1980-1988	7,30	0,04	20,03	0,31	27,67
1988-2000	10,97	0,08	5,93	0,13	17,12
2000-2005	5,97	0	15,25	0	21,22
2005-2011	9,27	0	7,65	0	16,93

Az adatok alapján egyértelműen azonosítható, hogy a mederfejlődés általi ártér-átalakulás intenzitása a teljes vizsgált időszakon belül 1952-1956 között volt a legkiemelkedőbb mértékű. Tekintve, hogy ez a rész-időszak mindössze négy évig tartott, így az évekkel normalizált 31,81 ha/év parterózió kimagaslónak számít, továbbá a mesterséges kanyarulat-átvágások során elfoglalt új mederszakaszok területe is ebben az időszakban volt a legmagasabb (5,92 ha/év). Ezt a parteróziós folyamatot hasonló nagyságrendű, sőt nagyobb mértékű (45,05 ha/év) akkréció követte a kanyarulatok belső ívén, valamint a folyószabályozásokat követően felhagyott meder-darabok feltöltődése is jelentős területeket jelentett. A teljes mederváltozási rátában a második legaktívabb (61,88 ha/év) időszak az 1975 és 1980 közötti volt. 1980 és 1988 között sokkal inkább az akkréciós folyamatok domináltak, közel háromszoros intenzitást mutattak a parterózió által érintett területekhez képest,

ezzel kialakítva a harmadik legjelentősebb, mederfejlődés általi tájváltási időszakot. Eredményeink azt mutatják, hogy a 2000 és 2005 közötti időszakban a parterózió által elrombolt területek csökkentek (10,97-ről 5,97 ha/év-re), azonban ezzel ellentétben az akkréció mértéke közel 2,6-szorosára emelkedett (5,93-ról 15,25 ha/évre). Az utolsó vizsgált időszakban (2005-2011) viszont újból (+3,3 ha/év) megnőtt a parteróziós intenzitás, míg ezzel egyidőben az akkréció inkább lecsökkent.

Ezek az eredmények alapos áttekintést adnak mederfejlődés által végbement ártér-átalakulásról, azonban nem alkalmasak a területi eltérések kimutatására. A 35. ábrán kizárólag a természetes parterózió által lerombolt területek kiterjedését jelenítettem rész-szakaszonként. Az ábrázolásnál szándékosan kihagytam a mesterségesen átmetszett kanyarulatok által újonnan elfoglalt területeket továbbá az eróziós rátákat az időszakok hossza mellett a rész-szakaszok hosszával is normalizáltam az összehasonlíthatóság érdekében.

Az első négy év során a Sajó menti rész-szakaszok közül folyásirányban az R6-tól lefelé mértem a legnagyobb eróziós rátákat. Kimagasló parteróziót azonosítottam a rész-szakaszok többsége mentén 1975 és 1980 között, mindegyik rész-szakasz mentén növekedett az évenkénti erodált területek kiterjedése az azt megelőző, 1956-1975-ös időszakhoz képest. Az 1980 és 1988 közötti időszakban ingadozó mértékű, de stabilizálódó parteróziós aktivitást azonosítottam, mindössze az R7, R10 és R12 mentén növekedtek az értékek (mindegyik esetén legalább 0,08 ha/év/fkm mértékben). Az utolsó hat év során ismét növekedett a parterózió által elrombolt területek kiterjedése minden rész-szakasz mentén, habár a legmagasabb érték is mindössze 0,13 ha/év/fkm mértékű volt.

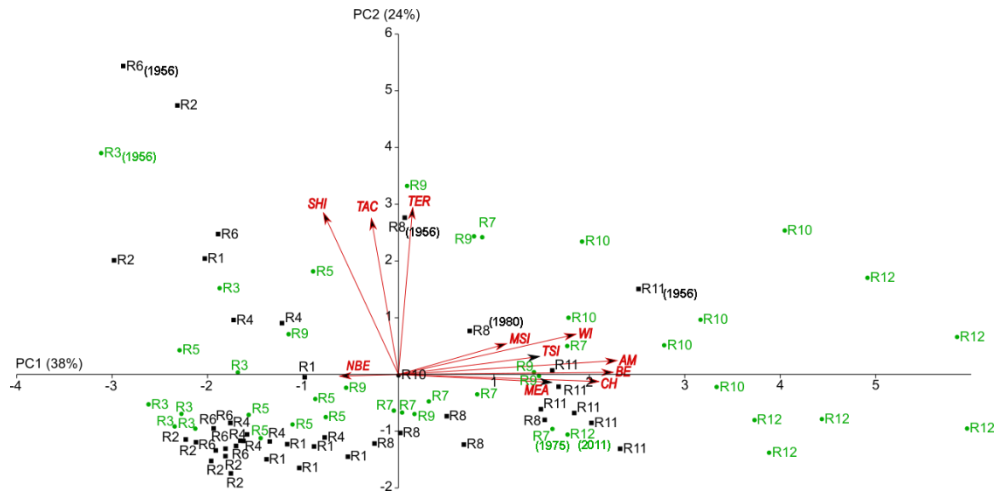


35. ábra: A Sajó lehatárolt rész-szakaszai mentén végment természetes parterózió által érintett területek kiterjedése a vizsgált időszakokban

Az átlagértékek elemzését követően a 36. ábrán minden rész-szakaszra vonatkozóan összegeztem a természetes eredetű parterózió mértékét 1952 és 2011 között. Ezek alapján megállapítottam, hogy a legnagyobb mértékű partpusztulás az R9 (1,24 ha/év/fkm) és R10 (1,19 ha/év/fkm) rész-szakaszokat érintette. A leginkább erodáló rész-szakaszok második csoportját pedig az R3, R7 és R12 képezte, egyaránt 0,8-0,94 ha/év/fkm mértékben.

5.1.6. A Sajó természetes és antropogén rész-szakaszai közötti statisztikai különbségek

A főkomponens-analízist (PCA) összesen 924 db adat bevonásával végeztem el. Ezek az 8. táblázatban felsorolt 11 változó értékei voltak 7 vizsgált időszakra kiszámítva az általam lehatárolt 12 db rész-szakasz esetén külön-külön. Eredményeink alapján a PCA a teljes variancia 77%-át magyarázta és lehetővé tette három főkomponens (PC) elkülönítését. Az első főkomponens (PC1) a variancia 38%-át adja és az AM, BE, MEA, WI, MSI ill. TSI változókkal korrelált; a második főkomponens (PC2) a variancia 24%-át adja és a TER, TAC ill. SHI változókkal korrelált, míg a harmadik főkomponens (PC3) a variancia 15%-át adja és kizárólag az NBE változóval korrelált (37. ábra).



37. ábra: A Sajó természetes és antropogén jellegű rész-szakaszai közötti statisztikai különbségeket feltáró biplot diagram. A diagramon zöld pontok jelölik a természetes, míg fekete négyzetek az antropogén rész-szakaszokat, a címkék az egyes rész-szakaszok sorszámairól, míg a vörös nyilak a változók súlyának irányvektorairól tájékoztatnak.

Az elemzéseink alapján lehatárolt rész-szakaszok között különbségek jelentkeztek, de nem mindegyik morfometriai vagy mederváltozási paraméter esetén (16. táblázat). A változók közül meanderek összhossza (MEA), az átlagos mederszélesség (WI), a rész-szakaszok teljes kanyargóssága (TSI), a rész-szakaszok átlagos kanyargóssága (MSI), a kanyarulatok száma (NBE) valamint az átlagos mederelmozdulás azonosítottam szignifikáns különbséget ($p < 0,05$), közepes hatásfokkal ($r > 0,3$). A hatásfokok mértéke alapján csekély hatás ($0,1 < r < 0,3$) megfigyelhető az átlagos amplitúdó (AM) és a teljes erodált terület (TEA) alapján is, azonban ezek a mutatók nincsenek szignifikáns kapcsolatban az eltérésekkel. A legnagyobb hatásfok a rész-szakaszok teljes kanyargóssága (TSI) esetén jelentkezett ($r = 0,509$). Végül megállapítható, hogy a változók alapján a PC1 és PC2 főkomponensek között szignifikáns különbség van, sőt a PC1 esetén azonosítottam a második legnagyobb hatásfokot a TSI értéke után.

16. táblázat: A Sajó rész-szakaszai közötti különbségek a morfológiai változók Mann-Whitney-tesztje alapján (félkövér: $p < 0,05$; dőlt: legalább közepes hatás)

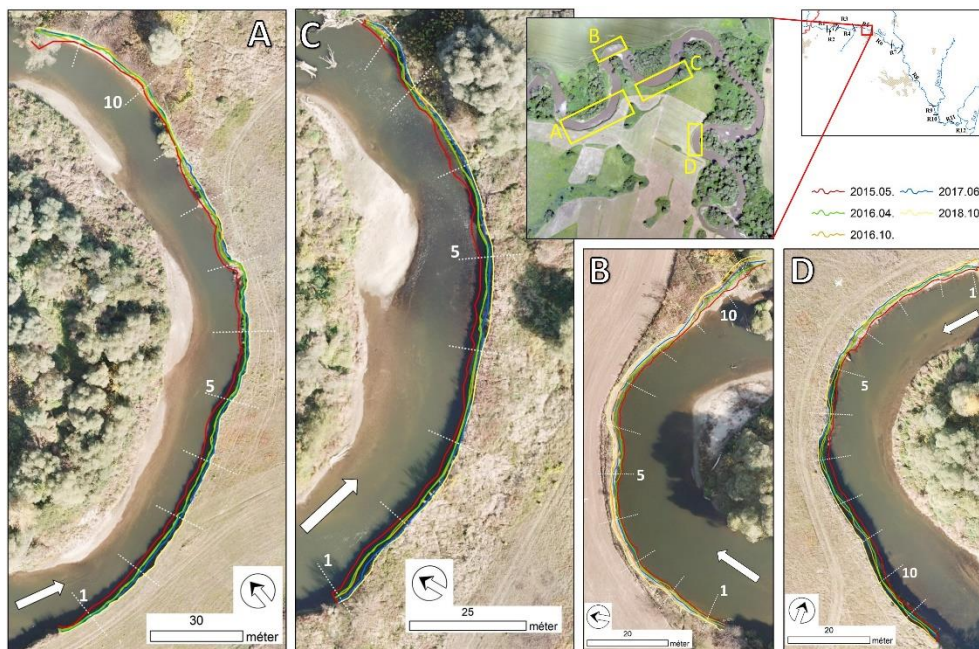
Változók	z	r	p
CH	0,111	0,012	0,916
AM	1,793	0,198	0,069
BE	0,666	0,072	0,506
MEA	2,208	0,240	0,025
WI	2,983	<i>0,325</i>	0,002
MSI	3,238	<i>0,353</i>	0,001
TSI	4,669	<i>0,509</i>	<0,001
TER	1,825	0,199	0,066
TAC	1,279	0,139	0,204
NBE	2,579	0,281	0,009
SHI	2,124	0,231	0,031
PCI	3,484	<i>0,380</i>	0,001
PC2	2,393	0,261	0,017
PC3	0,818	0,089	0,420

5.2. A Sajó rövidtávú mederdinamikai vizsgálatának eredményei

5.2.1. Az UAV-alapú parterózió-monitoring eredményei

5.2.1.1. Kazincbarcika

A Sajó hazai szakaszán folyásirányban az első vizsgált mintaterület a Kazincbarcika város külterületén elhelyezkedő, kilenc egymást követő kanyarulatból álló rész-szakasz volt (38. ábra).



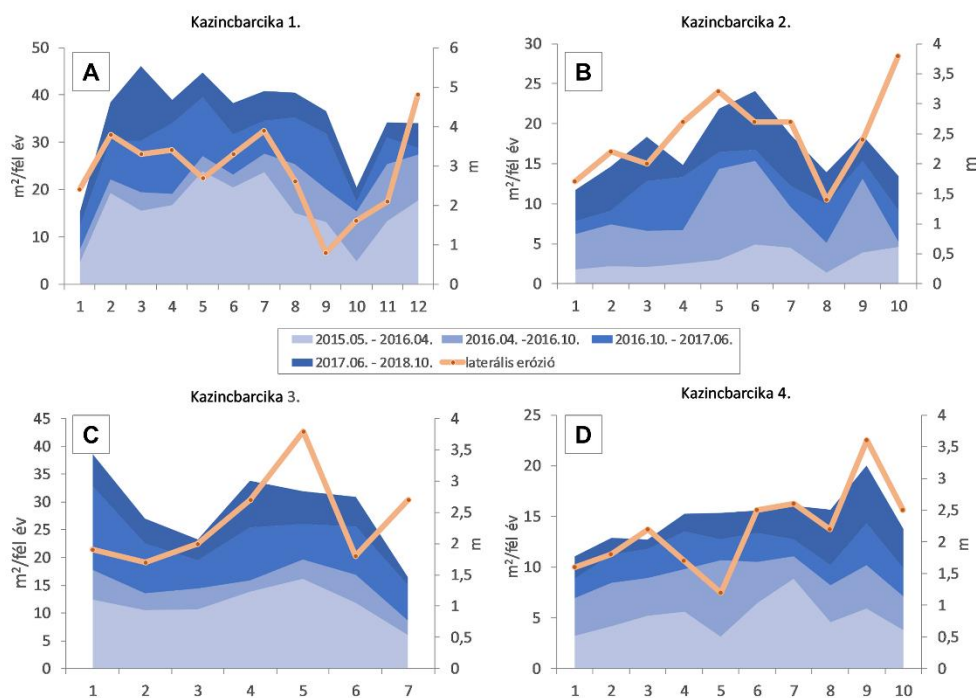
38. ábra: Parterózió intenzitása a kazincbarcikai mintaterület négy kanyarulata mentén

A 2015. május és 2018. október között eltelt közel 3,5 éves időszak alatt a kanyarulatok ívének laterális elmozdulása (39. ábra) 1 és 5 méter közötti intervallumot érte el. A legnagyobb parterrózió az A-jelű kanyarulatban jelentkezett, keresztmetszvényenként átlagosan közel 3-4 méteres elmozdulással. A B, C, D kanyarulatok esetén közel azonos, 2-2,5 méteres átlagos elmozdulásokat mértem.

Az B és C kanyarulatok esetén kumulált erodált terület és a keresztmetszvényenként mért partelmozdulás értékei alapján megállapítható, hogy a parterrózió intenzitása a kanyarulatok csúcspontja környékén éri el a maximumot, azt követően 1-2 méteres intenzitás-esés tapasztalható, majd a kanyarulat ívének vége felé ismét növekedést mértünk. Az A kanyarulat esetén a kanyarulat csúcspontjáig konstans magas erózió jelentkezett, míg a D kanyarulat esetén már korábban, a 3. keresztmetszvényt követően történt a visszaesés, majd onnan ismét növekedő tendencia jellemezte az erózió erősségét.

A vizsgált időszakok közül a 2015.05., ill. 2016.04. közöttiben az A, C ill. D szakaszokon jelentkezett a legnagyobb parterrózió, átlagosan 15 m²/fél év mértékben. A második időszakban a Sajó főként a B kanyarulatban mutatott magas eróziós rátákat (átlagosan 6 m²/fél év), habár az A kanyarulat csúcspontját követő szakaszán szintén intenzívebben pusztult a part.

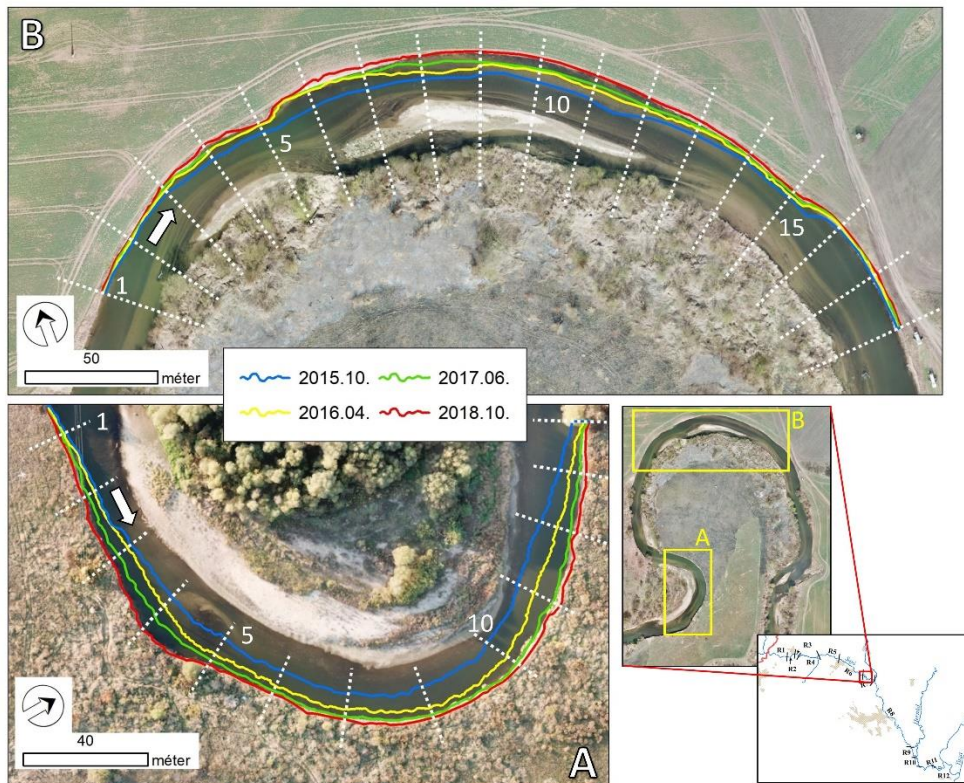
A 2016-2017. közötti közel egy éves ciklus során a B kanyarulatot kivéve arányaiban fokozódó, majd az utolsó időszakban inkább csökkenő eróziós intenzitást mértünk.



39. ábra: Kumulált parterrózió eloszlása a kazincbarcikai mintaterület kanyarolatai mentén

5.2.1.2. Sajószentpéter

A második, UAV-eszközökkel vizsgált mintaterület Sajószentpéter külterületén elhelyezkedő, kettős kanyarulat volt (40. ábra).



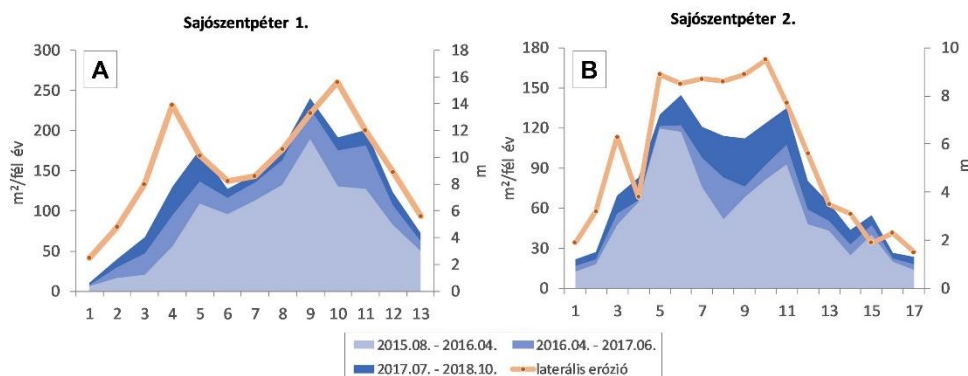
40. ábra: Parterrozió intenzitása a sajószentpéteri mintaterület két kanyarulata mentén

A 2015. május és 2018. október között eltelt közel 3,5 éves időszak alatt a kanyarulatok külső ívén mért horizontális elmozdulás maximális intenzitása elérte az előző alfejezetben ismertetett kazincbarcikai kanyarulatok mentén mért értékek közel kétszeresét, míg a kumulált erodált parterrozió esetében pedig közel nyolckilencszeresét (41. ábra).

Folyásiránynak megfelelően az első, kisebb ívhosszú (290 méter) A szakasz mentén mértem ezen a mintaterületen a magasabb eróziós intenzitást. A kanyarulat kezdeti szakaszán és végén jelentkezett a legkisebb horizontális elmozdulás, habár ezeken a pontokon is 3-6 méteres teljes elmozdulást mértünk. A kanyarulat mentén a partpusztulás két csúcspontú görbével jellemezhető, a 4. ill. a 10-11. keresztmetszvények mentén érte el a 14 ill. 16 méteres teljes horizontális elmozdulást.

A B kanyarulat esetében a második, nagyobb ívhosszú kanyarulatnak egy 376 méter hosszú szakaszát vizsgáltam. Ezen a szakaszokon a kanyarulat külső ívének laterális elmozdulási értékeinek maximuma az A kanyarulathoz képest kisebb, 7-8 méter között mozgott. Az A kanyarulathoz hasonlóan a B esetén is két csúcspontú eloszlást mértünk a parterrozió esetében, ráadásul a maximumot ennél a kanyarulatnál

is a kanyarulati csúcspontot megelőzően tapasztaltam. Az 5-9. keresztshelvények közötti szakaszon közel azonos, 8 méter nagyságrendű elmozdulást mértünk, majd a 10. keresztshelvényenél jelentkezett a 9,5 méteres legnagyobb elmozdulás.



41. ábra: Kumulált parterózió eloszlása a sajószentpéteri mintaterület kanyarulatai mentén

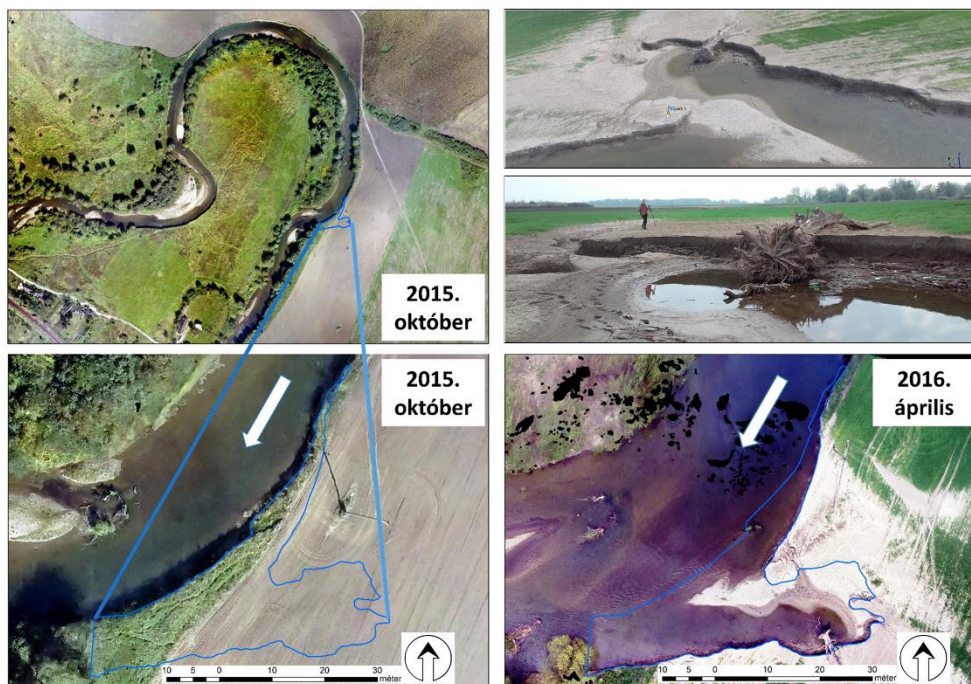
A kumulált parterózió tekintetében mindkét kanyarulat mentén az első fél éves (2015.08 – 2016.04.) időszakban pusztult le a legtöbb partanyag, az A kanyarulat esetén 190 m²/fél év, míg a B kanyarulat esetén 120 m²/fél év maximummal. Az A kanyarulat mentén a második és harmadik időszakokat közel hasonló mértékűben erodált partanyag jellemezte, a B kanyarulat esetén viszont az 5-11. keresztshelvényekkel határolt szakaszon fokozódott a parterózió.

A sajószentpéteri mintaterületen a kanyarulatok külső ívének fejlődéséből adódó parterózióon kívül egy további, különálló geomorfológiai eseményt is sikerült azonosítanom. Folyásirány szerint a kanyarulat alsó szakasza egy enyhén jobb oldali irányultságú ívet követően folytatja a közel egyenes futásvonalát.

A 2016. áprilisi terepi mérésorozatom során észleltünk egy nagy kiterjedésű parteróziós jelenséget (42. ábra), amely a közel fél évvel korábbi, 2015. októberi felmérés során még nem létezett.

Mindkét UAV-lerepülés során digitális felszínmodelleket is készítettünk, ezek pedig lehetővé tették a kvantitatív összehasonlítást. A két ortofotón azonosítottam egy olyan poligont, amely az eseményt megelőző időpont partvonala, valamint az eseményt követő időpont erodált partszegélye alapján lett körülhatárolva. A számításaink alapján egy 872 m² kiterjedésű partfelület, valamint 380 m³ partanyag pusztult le. A Sajó által a szántó peremén szétterített durva, kavicsos hordalékot a parttól közel 90 méter távolságig észleltem.

Az esemény jellegével kapcsolatban az utóbbi három évben végzett lerepüléseink eredményei azt mutatták, hogy egy különálló, egyszeri jelenségről van szó. Az UAV-ortofotók alapján a terület folyamatosan akkumulálódott a Sajó által szállított hordalékkal, ezt követően megindult a vegetáció megtelepedése is (2. melléklet). Jóllehet a part pusztulása ezen a kis szakaszokon nem folytatódott, azonban az akkumulált hordalék a korábbi partfaltól eltérő irányba terelte a sodorvonalat, átfórmálva a meder áramlástanai viszonyait. Az eseményt követő időszakban a mederközépi zátonyok áthelyeződtek (2. melléklet).



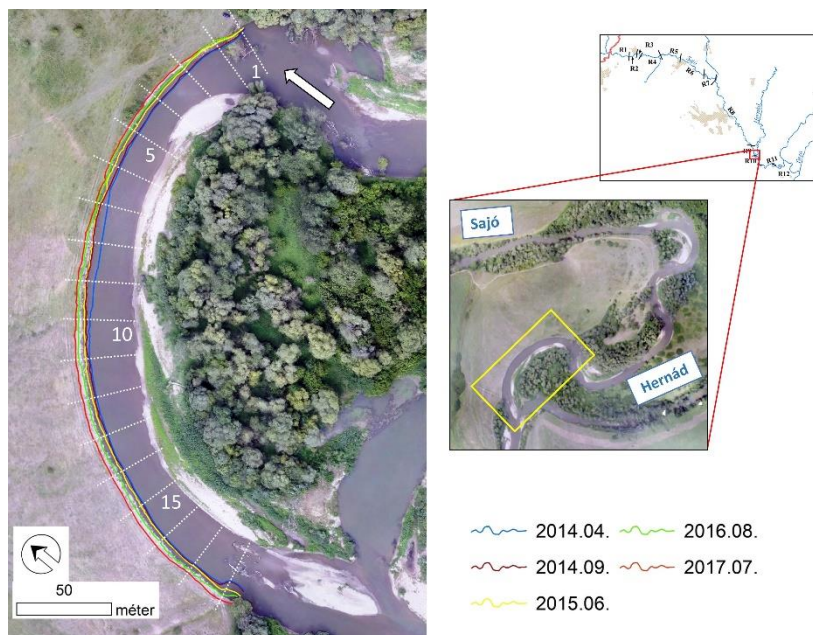
42. ábra: A sajószentpéteri mintaterület mentén azonosított parterróziós esemény

5.2.1.3. Ónod

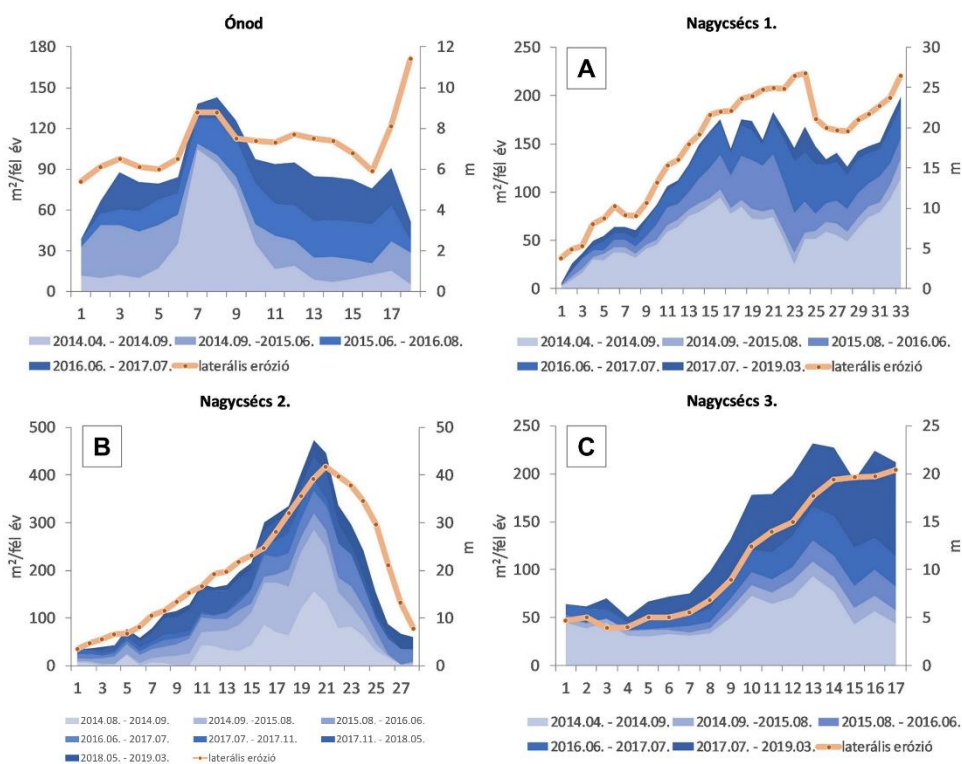
Az UAV-alapú parterrózió-monitoring harmadik vizsgált mintaterülete az Ónod külterületén elhelyezkedő kettős kanyarulatrendszer volt (43. ábra). A kanyarulatrendszer egy kezdeti egyenes szakaszból, majd öt kisebb ívhosszú kanyarulatból tevődik össze, míg az utolsó kanyarulat végén betorkollik a Sajóba a Hernád. A kanyarulatok közül, illeszkedve a Sajó-menti többi mintaterülethez, a legutolsó, erdőborítás nélküli külső ívvel rendelkező kanyarulat választottam a monitoring-vizsgálatokhoz.

A kanyarulat külső ívének laterális elmozdulása egy nagyobb és egy kisebb csúcspontot kivéve egyenletes eloszlású volt (44. ábra). A kanyarulat 1-6. keresztmetszései által határolt első szakaszán átlagosan 6 méter nagyságrendű teljes elmozdulást mértünk a 2014.04-2017.07. közötti közel három éves időszak alatt. A 7-8. keresztmetszvények közötti 40 méteres szektorban az elmozdulás fokozódott, mértéke elérte a közel kilenc méteres elmozdulást. A 9. keresztmetszvénytől kezdve az elmozdulás intenzitása lecsökkent a 7 méteres nagyságrendig, s ez egészen a 16. keresztmetszvényig fennmaradt. A kanyarulat alsó szakaszán, az utolsó 40 méteren azonban az elmozdulás jelentősen emelkedett s elérte a 11,4 méteres értéket.

A kumulált parterrózió szempontjából a legelső, öt hónapos időszak (2014.04 – 2014.09) során leginkább az első csúcspont környezetében, a 6-10. keresztmetszvények között bizonyult a legintenzívebbnek, meghaladva a 100 m²/fél év erodált területet.



43. ábra: Parterrózió intenzitása az ónodi mintaterület kanyarulata mentén



44. ábra: Kumulált parterrózió eloszlása az ónodi és nagycsécsei mintaterületek kanyarulatai mentén

5.2.1.4. Nagycséc

Az utolsó vizsgált mintaterület Nagycséc település külterületén elhelyezkedő három egymást követő kanyarulatból álló szakasz volt (45. ábra).

Folyásiránynak megfelelően az első, *A* kanyarulatnak egy 330 méter hosszú, a *B* kanyarulatnak egy 290 méter hosszú, míg a *C* kanyarulatnak egy 180 méter hosszú szakaszát vizsgáltam az UAV-alapú parterózió-monitoring során. A vizsgálataink során ezen a szakaszon történt a legtöbb mérés: az *A* kanyarulat esetén hat míg a *B*, *C* kanyarulatok esetén nyolc időpontban végeztem UAV-lerepüléseket, RTK-alapú mederfelméréssel kiegészítve. Ezáltal a monitoring-vizsgálat is egy hosszabb, közel öt éves időszakot ölel fel.

Az 44. ábra diagramjai alapján egyértelműen következtethetünk arra, hogy a vizsgált mintaterületek közül a nagycsécsi szakaszok mentén mértem a legkimagaslóbb értékeket a kanyarulat külső ívének laterális elmozdulása és a kumulált parterózió tekintetében egyaránt.

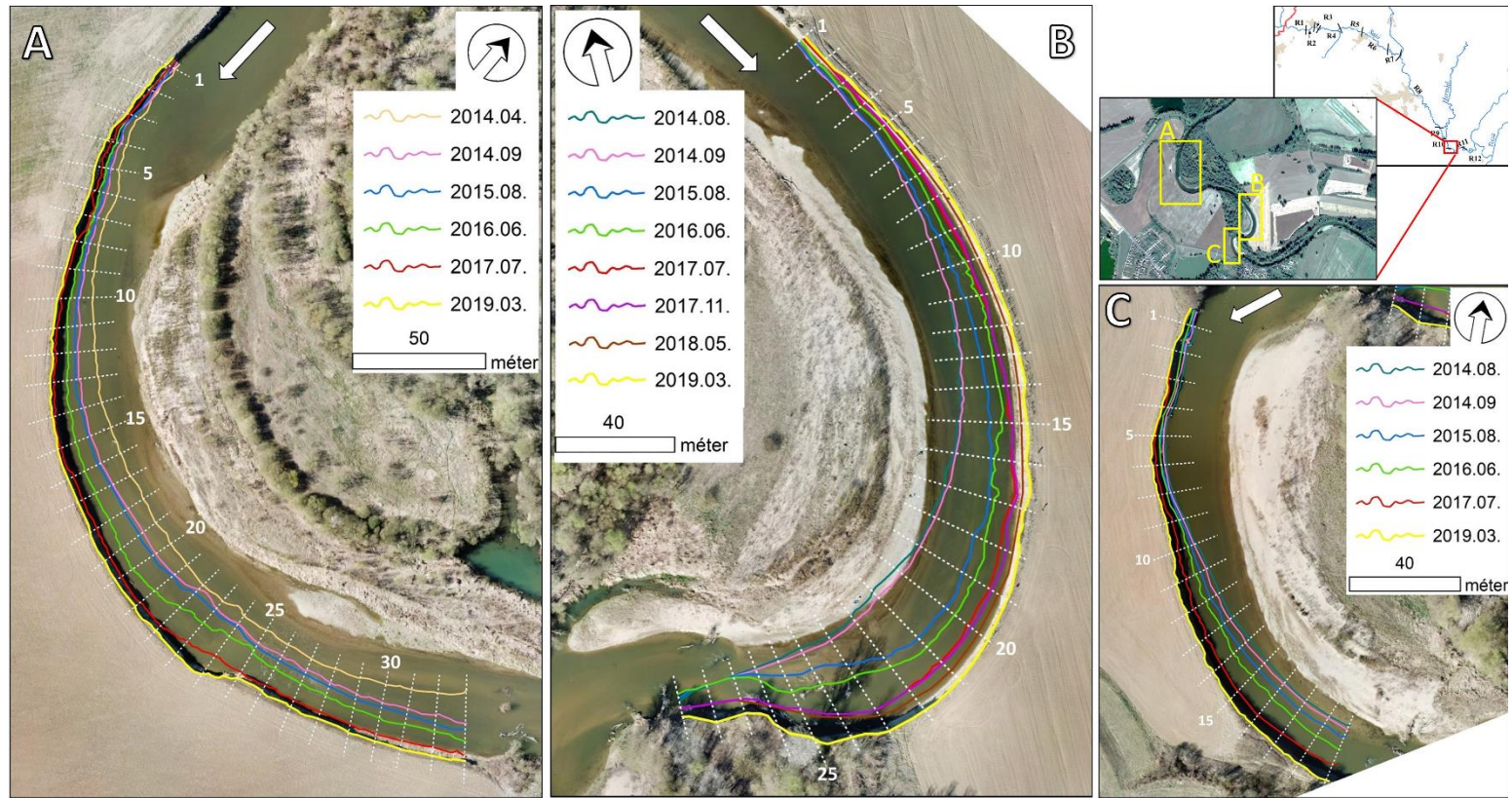
Az *A* és *B* kanyarulatok esetén egy elnyújtott rotációs meander-típus jellemzi a mederformát, ezek közül is az *A* kanyarulat a parterózió eloszlása tökéletes elnyújtott haranggörbe lefutást mutat.

A kanyarulat külső ívének laterális elmozdulása az *A* kanyarulat esetén követi a sodorvonal futását. A kanyarulat 24. keresztaszvélényéig történő partelmozdulás monoton növekvő intenzitása, amely eléri a 26,8 méteres maximumot, kismértékben a 8. keresztaszvélény mentén törik meg. majd a kanyarulati csúcspontot követően, a 25. keresztaszvélénytől kezdve visszaesett. A 26. keresztaszvélénytől folyásirányban lefelé a kanyarulat végéig fokozódva a laterális elmozdulás mértéke (26,5 m) elérte az első csúcspontban mért intenzitást.

A *B* kanyarulat esetén elnyújtott rotációs meander-típusokra leginkább jellemző parteróziós dinamikát azonosítottam. A kanyarulat külső ívének laterális elmozdulása a sodorvonal futásához illeszkedve monoton növekvő értékeket mutat, majd a 21. keresztaszvélény mentén eléri a 41,8 méteres maximumot. Az egyes időszakok külső ívének vizsgálata alapján arra következtethetünk, hogy a kanyarulat csúcspontja fokozatosan eltolódik folyásiránnyal megegyező irányba. A csúcspontot követően az elmozdulás mértéke monoton csökkenő értékeket felvéve, fokozatosan visszaesik a kanyarulat kezdeti szakaszán mért elmozdulási értékek szintjére.

A *C* kanyarulat esetén a kanyarulat külső ívének laterális elmozdulásának térbeli eloszlása közel a 1-7. keresztaszvélények között közel azonos, 4-5 méter nagyságrendű elmozdulást mutat. A 8-13. keresztaszvélény között az elmozdulás fokozódott és elérte a 19 méteres intenzitást, majd a 14. keresztaszvélénytől a kanyarulat vizsgált szakaszának végéig kismértékű tovább növekvő eróziót eredményezett. Az *A* és *B* kanyarulatokkal ellentétben a *C* kanyarulat esetén a maximális laterális elmozdulás 20,4 méteres maximumát nem a kanyarulat csúcspontja környékén, hanem a kanyarulat végén jelentkezett.

A vizsgált időszakok tekintetében az *A* kanyarulat mentén az első 5 hónapos időszakban (2014.04 – 2014.09) tapasztaltam a legmagasabb (50-100 m²/fél év) kumulált parteróziót. A *B* kanyarulatot viszonylag egyenletesen magas eróziós intenzitás jellemzi.

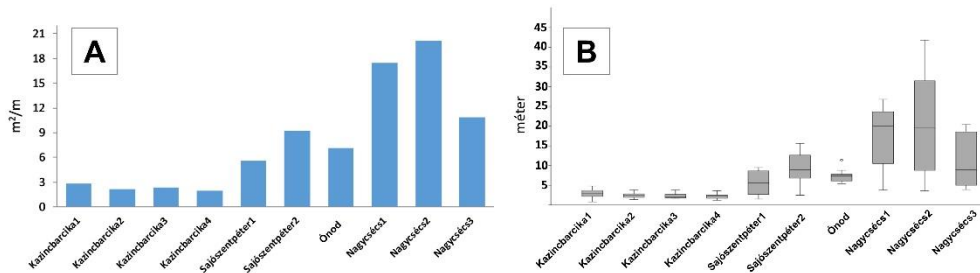


45. ábra: Parterózió intenzitása a nagycsécsi mintaterület kanyarulatai mentén

Az ezt követő közel egy évben (2014.09 – 2015.08) nagymértékben visszaesett az erodált területek kiterjedése. Mindezek után egészen 2017-ig ismét jelentősen fokozódott (30-50 m²/fél év) a partererózió, végül az utolsó bő másfél évben ismét visszaesett. A C kanyarulat mentén szintén az első, bár jelen esetben mindössze egy hónapos (2014.08 – 2014.09) időszak során mértem a legnagyobb partereróziós rátákat, ezt egy visszaesés követte. 2015 augusztusától azonban egy monoton növekmény jellemezte a kumulált partererózió intenzitását, különösképpen a folyásirány szerinti 9. keresztmetszélvénytől lefelé.

5.2.1.5. A partererózió mértékének eloszlása a mintaterületeken

Az UAV-alapú partererózió-monitoring összesített eredményei (46. ábra) alapján megállapítottam, hogy a négy mintaterületen mért eróziós intenzitási értékek eloszlásai között alapvető különbségek vannak.



46. ábra: A kanyarulatok mentén mért kumulált partererózió (A) valamint a kanyarulatok külső ívén mért laterális elmozdulás (B) eloszlásai a vizsgált mintaterületeken

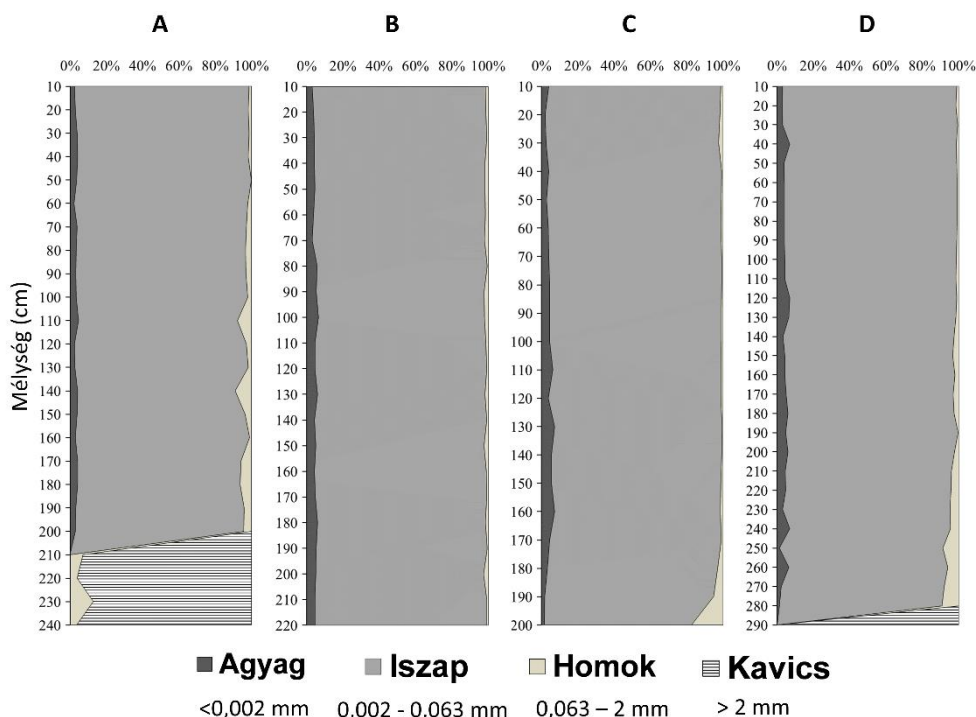
A kazincbarcikai terület kanyarulatainak átlagos eróziós intenzitása valamint annak szórása egyaránt a legalacsonyabb mértékűnek bizonyult a négy mintaterület közül. A legnagyobb partelmozdulást és a legtöbb átlagos erodált területet a nagycsécsi A ill. B kanyarulatok mentén mutattam ki. A két említett terület közül a partok laterális elmozdulásának átlagértékei magasabbak az A kanyarulatban, de a B kanyarulat mentén sokkal nagyobb elmozdulási értékek is jelentkeztek, ezzel együtt pedig a kumulált erodált partmennyiség inkább a B kanyarulatban bizonyult nagyobbak. A sajószentpéter külterületén található kettős kanyarulat mentén, a kazincbarcikai területen mért értékektől intenzívebb partereróziót tapasztaltam. Az ónodi területen vizsgált egy kanyarulat mentén kimutatott partererózió nagyságrendileg a sajószentpéteréhez közeli, azonban a laterális elmozdulás eloszlása alapján megállapítható, hogy az értékek szórása sokkal kisebb.

5.2.2. Szedimentológiai eredmények

5.2.2.1. Kazincbarcika

A Kazincbarcika külterületén vizsgált kanyarulatok fúrásai egy-egy kiválasztott kanyarulat csúcspontjában helyezkedtek el. A legsekélyebb talajfúrás (C) 200 cm mélységig haladt, míg a legmélyebb 290 cm-ig ért le. A talajminták

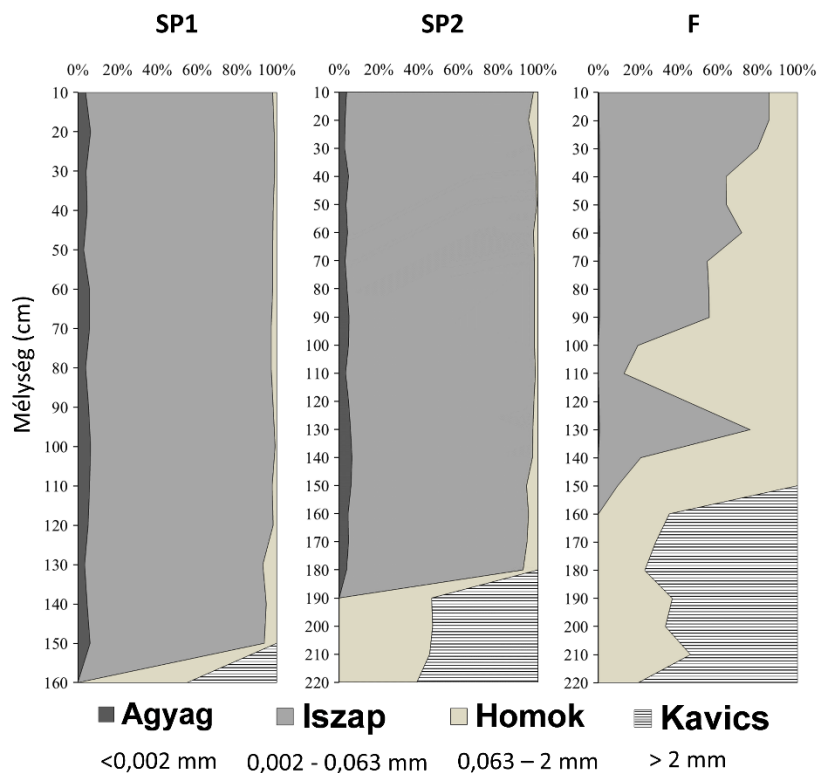
szemcseösszetételi diagramját vizsgálva (47. ábra) megállapíthatjuk, hogy a kanyarulatokban meglehetősen homogén módon vályog szerkezetűek, mind a négy fúrás esetén az iszapfrakció dominál (>85%). Az agyagtartalom mind a négy kanyarulat esetén 5% alattinak bizonyult, míg a homokfrakció főleg az A és D fúrásmintákban érte el a 10%-ot. A felső kavicsos réteg az A fúrás minta esetén a talajfúrás alsó 35 cm-éig terjedt ki.



47. ábra: A partfalak szemcseösszetételi diagramja a kazincbarcikai kanyarulatok mentén

5.2.2.2. Sajószentpéter

A Sajószentpéter külterületén elhelyezkedő vizsgálati területen két fúrás talajmintáit elemeztem, mindkét fúrás minta a kanyarulatok csúcspontján helyezkedett el. Folyásirány szerint az első fúrás minta (SP2) 220 cm mélységig ért el, míg a második (SP1) 60 cm-rel sekélyebbnek bizonyult (48. ábra). Az SP2 fúrás minta esetén kb. 140 cm, míg az SP1 esetén kb. 170 cm mélységig kiterjedő szemcseösszetételének jellege hasonló a kazincbarcikai kanyarulatok mentén tapasztalt arányokkal. Ezt követően azonban az SP1 esetén az alsó 10 cm-ben, míg az SP2 esetén az alsó 30 cm-ben 60-40%-ban a kavics-, ill. homokfrakció kerül túlsúlyba. Mindezek alapján mindkét fúrás minta homokos vályog szerkezetű.



48. ábra: A partfalak szemcseösszetételi diagramja a sajoszentpéteri ill. ónodi kanyarulatok mentén

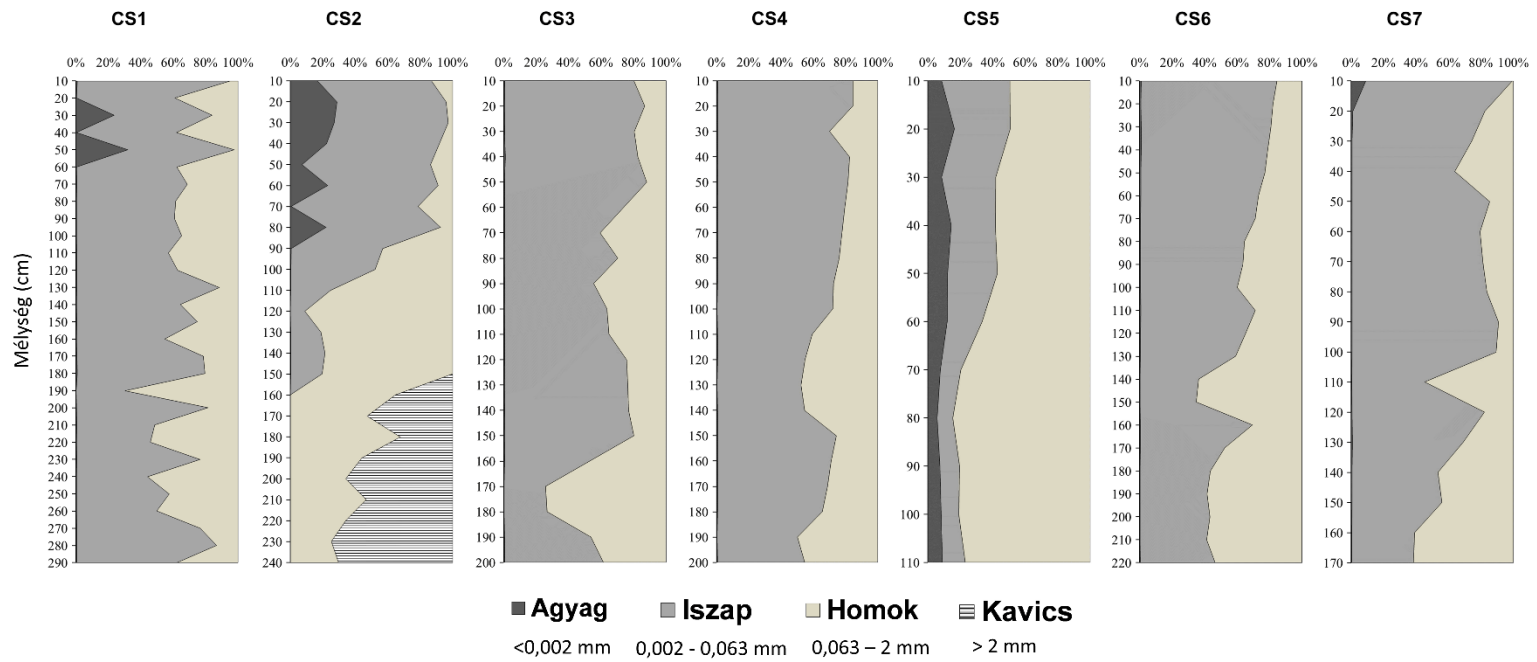
5.2.2.3. Ónod

Az Ónod külterületén található kanyarulatrendszer mentén mindössze egyetlen talajfúrás mintáit vizsgáltam (48. ábra, F). A talajfúrás 220 cm mélységű, a szemcseeloszlási diagram alapján homokos vályog szerkezetű. A homok-frakció aránya 110 cm-ig növekszik, ezt követően beékelődik egy 20-30 cm vastagságú iszapos réteg. A 140 cm-es mélységtől lefelé ismét a homokos üledék kerül túlsúlyba, 160 cm mélységben pedig a durvább szemcséjű kavicsos üledék is megjelenik, közel 70-80%-os részarányban egészen a fúrás minta aljáig. Az agyagtartalom az ónodi kanyarulatban 1% alatti.

5.2.2.4. Nagycsécs

Szedimentológiai szempontból a legsűrűbben vizsgált terület a Nagycsécs külterületén elhelyezkedő három kanyarulat volt. Folyásiránynak megfelelően az első kanyarulat mentén 7 db talajfúrást (CS1-CS7), a második kanyarulat mentén 2 db talajfúrást (N1, N2), míg a harmadik kanyarulatban mindössze egyetlen talajfúrást (G) mélyítettünk.

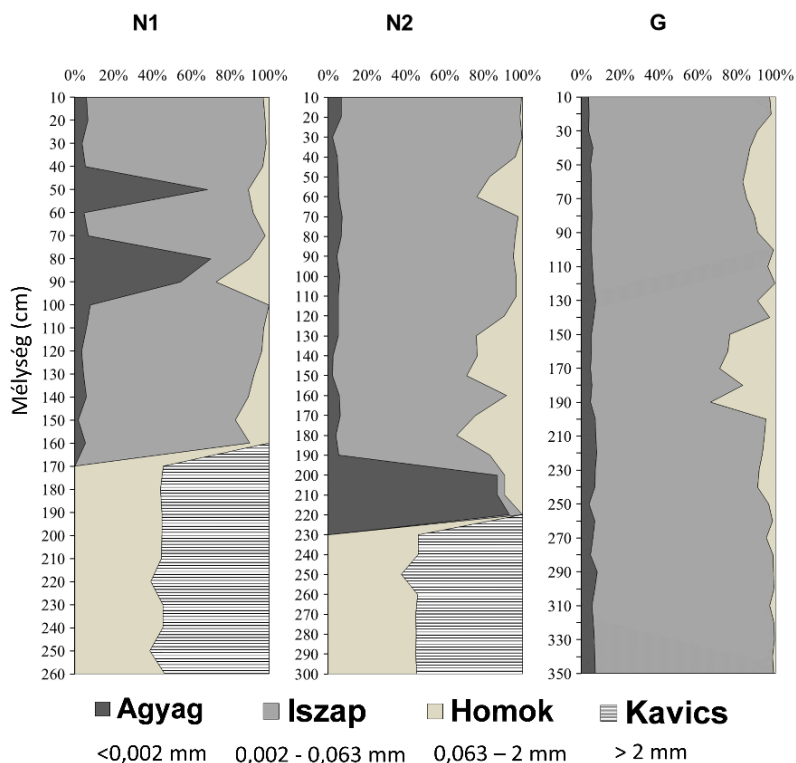
Az első kanyarulat mentén vizsgált talajminták szemcseösszetételi diagramja (49. ábra) alapján megállapítható, hogy a partfalak főként homokos-vályog textúrájúak.



49. ábra: A partfalak szemcseösszetételi diagramja az első nagycsécsi kanyarulat mentén

A talajfúrások mélysége 110, ill. 170 cm között változott. Az agytartalom mindössze a CS1, CS2, CS5 fúrásmintákban érte el a 20%-os részarányt, sőt az előbbi kettő esetén kizárólag a felső 60-90 cm-ben. A CS1 fúrás minta mentén az iszap, ill. homokfrakciókban gazdag rétegei folyamatosan váltakoznak, de összességében az iszapos üledéknek rendelkezik a magasabb részarányal. A CS2 fúrás minta esetén az alsó egy méter fokozatosan növekszik a durva, kavicsos szemcsék részaránya, elérve a 75%-ot. A CS1 fúrás mintát kivéve minden fúrás minta esetén megállapítható, hogy a homok-frakció részaránya a talajfúrás mélységével együtt fokozatosan növekszik. A CS5 fúrás minta mentén az agyagos üledékek jelenléte a teljes szelvényben, alacsony mértékben, de megfigyelhető, míg a homok-frakció részaránya már a part felső tartományában is magas, 50% körül mozog.

A második kanyarulat mentén vizsgált talajfúrások szemcseösszetételében (50. ábra, N1, N2) éles rétegváltásokat azonosítottam. Az N1 fúrás minta felső egy méteres tartományában egy 20, ill. 30 cm vastagságú agyagos (60-70%) réteg ékelődik be a főként iszapos üledékbe. Ezekben a rétegekben a homok frakció részaránya is megemelkedik 10-20% mértékig. Az N2 fúrás esetén egyetlen, de vastagabb (40 cm) vastag agyagos réteget azonosítottam 200 cm mélységben. Az N1 fúrás mintában 170 cm, míg az N2 esetén 230 cm mélységben egy-egy éles rétegváltással az iszapos frakció teljesen eltűnik, helyét a homokos-kavicsos üledékek veszik át, ~40-60%-os megoszlásban.

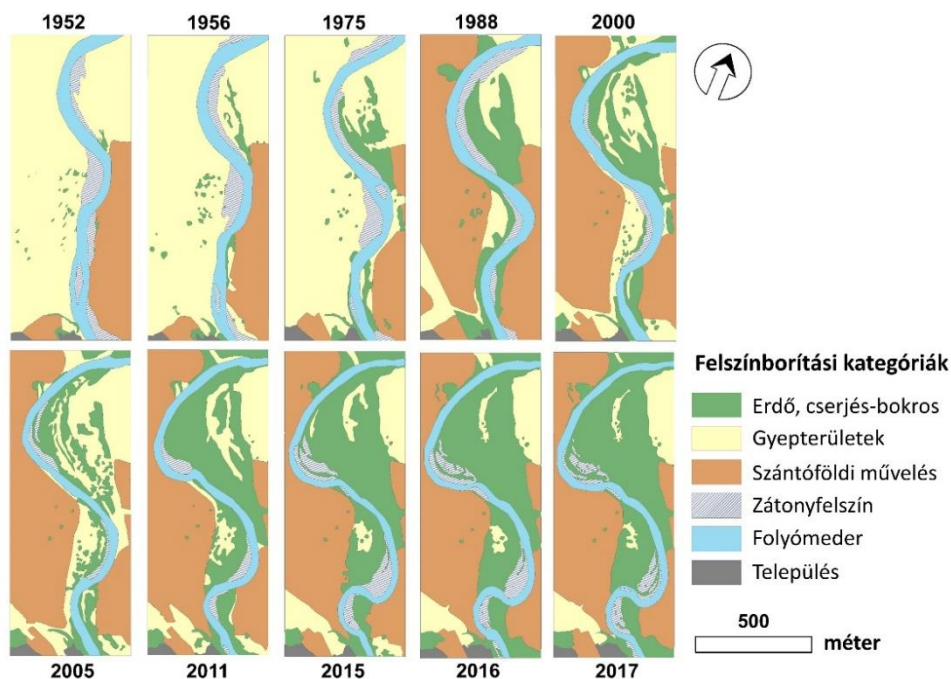


50. ábra: A partfalak szemcseösszetételi diagramja a nagycsécsi első (N1), második (N2), ill. harmadik (G) kanyarulatok mentén

A harmadik kanyarulat esetén (50. ábra, G) főként az iszapos frakció magas részaránya a jellemző. A homokos üledékek két vastagabb rétegben, 30-100 cm, ill. 140-200 cm mélységben emelkedik 20-30% mértékűre.

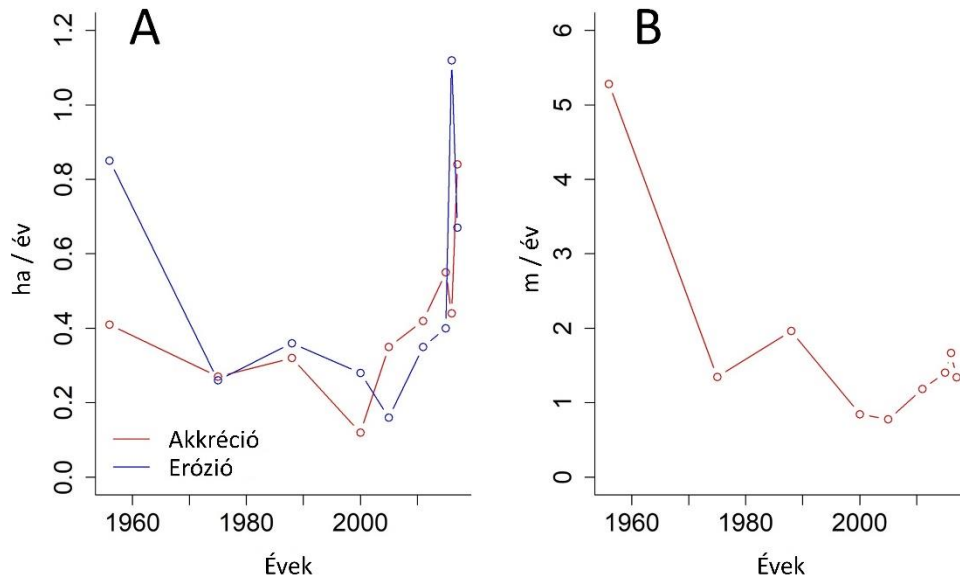
5.3. Sajó menti kanyarulatfejlődés ökológiai vonatkozásaihoz kapcsolódó eredmények

A 4.7. fejezetben, valamint a 16. ábrán ismertetett vizsgálati területen a rendelkezésünkre álló archív légifotók és ortofotók alapján vektorizált felszínborítási adatbázis segítségével készült részletes felszínborítás-változás eredményét az 51. ábra mutatja. Az ábra elemzése alapján egyértelműen megállapítható, hogy a vizsgált 65 éves időszak alatt számottevő változások történtek. A Sajó mederfejlődése kimagasló ütemben zajlott, miközben három, külön-külön is intenzíven változó, jelentős fejlettségű kanyarulat jelent meg.



51. ábra: A vizsgált terület felszínborítás-változása

A normalizált eróziós és akkréciós ráták idősorai alapján (52/a. ábra) az első vizsgált időszakban (1952-1956) jelentkezett a második legnagyobb parterziós intenzitás (0,85 ha/év), ezt követően azonban az erózió mértéke közel harmadára esett vissza 1975-re. Az 1975 és 1980 közötti időszakban ismét megindult az erózió enyhe fokozódása, viszont nem tartott sokáig: újból lecsökkent, majd 2005-ben érte el a legkisebb (0,16 ha/év) parterziós rátát. A látszólag gyengülő parterzió mértéke 2010-et követően intenzív fokozódásnak indult, míg végül a 2015-2016 közötti időszakban érte el maximumát (1,12 ha/év).

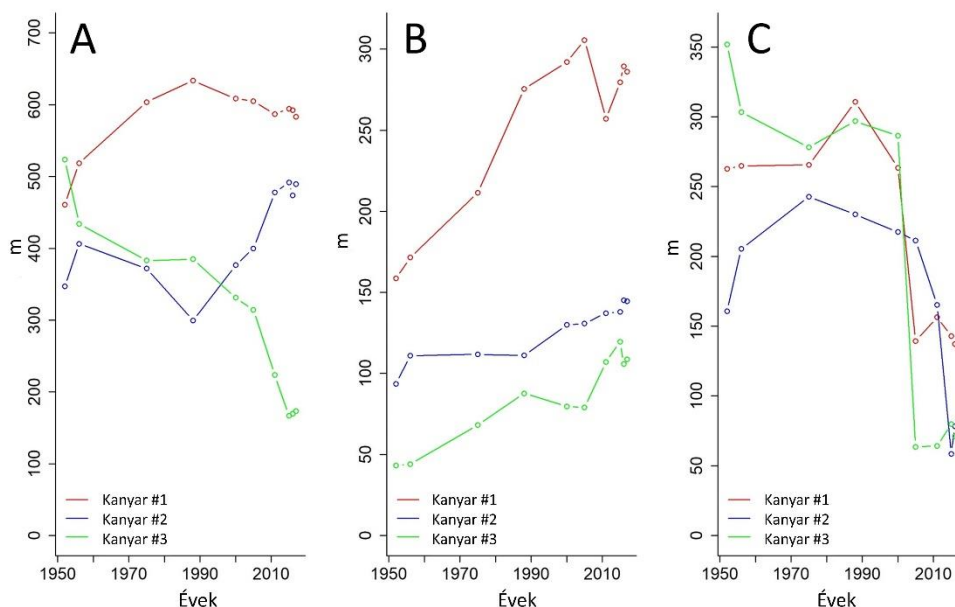


52. ábra: (A) A vizsgált időszak során mért normalizált erózió/akkréciós ráták idősorai; (B) A vizsgált időszak során mért átlagos meder-elmozdulás idősorai

Az első vizsgált időszakot (1952-1956) kivéve az akkréciós ráták szorosan követték az erodált területek mennyiségét, sőt a 2000-2005 közötti időszaktól kezdve (ha eltekintünk az imént említett kimagaslóan intenzíven erodáló 2015-2016-os időszaktól) meg is haladták azokat a mederfejlődés során. Az egyes időszakokban mért meder-elmozdulások adatai (52/b. ábra) alapján megállapítottam, hogy ezek az elmozdulások alapvetően követték a parterrózióban tapasztalt trendet. A vizsgálat kezdetén jelentkezett a legmagasabb elmozdulási érték (5,3 méter), ami az erózió mértékéhez hasonlóan jelentős mértékben lecsökkent 1975-re. A legkisebb oldalirányú medereltolódás is követte a parterrózió során tapasztalt 2005-ös minimum-értéket, majd ahhoz hasonlóan intenzíven fokozódott, habár a 2016-os csúcspontja nem mutatta az erózió esetén tapasztalt kimagasló szintet.

A vizsgált Sajó szakaszhoz tartozó folyókanyarulatokra számított medermorfometriai paraméterek időbeli változásait az 54. ábra mutatja, ahol a kanyarulat sorszámait folyásirányban lefelé követik egymást. A húr hossz értékek (53/a. ábra) az 1. kanyarulatban 460 méterről 634 méterre emelkedtek 1980-ig, azonban ezt követően enyhén csökkenni kezdtek. Habár a 2. kanyarulat húr hossza ellenkező trendet mutatva az 1980-1988-as időszak végére 299 méterre csökkent, azonban ezt követően közel 200 méterrel hosszabb lett 2017-re. A 3. kanyarulat húr hossz értékei monoton csökkenő változást mutattak: 1952 és 2017 között közel 350 méterrel lett rövidebb. A kanyarulatok amplitúdója, vagyis a kanyarulat magassága szinte minden kanyarulat esetén növekedést mutatott (53/b. ábra), viszont az 1. kanyarulat esetén az a bővülés a másik két kanyarulat növekedésének közel kétszerese (+127,49 m) volt. A szélességgel normalizált görbületi sugár esetén (53/c. ábra) a 2. és 3. kanyarulatok értékeinek változása 1952 és 1988 között a húr hosszhoz hasonló növekményt mutatott, az 1. kanyarulat esetén viszont szinte stagnált, majd

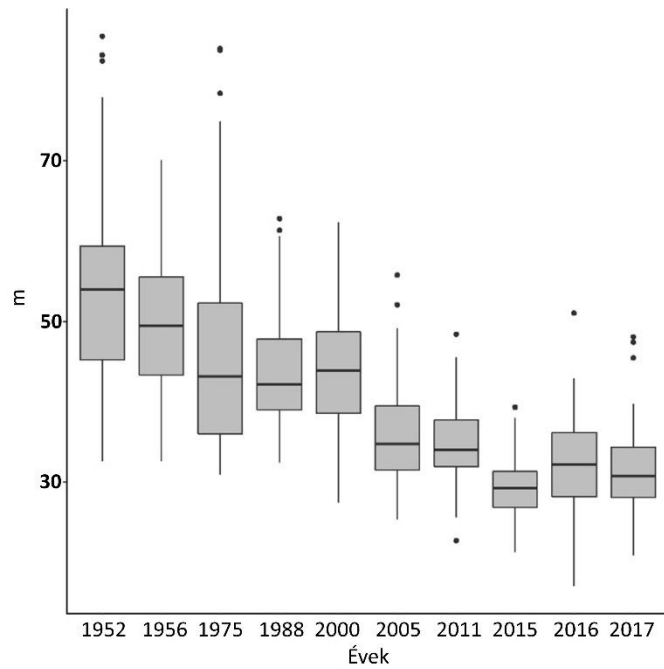
2000-ig emelkedett. A 2000-2005 közötti időszaktól kezdve azonban minden kanyarulat esetén, de leginkább a 3. kanyarulat esetén, drasztikusan lecsökkentek a görbületi sugarak.



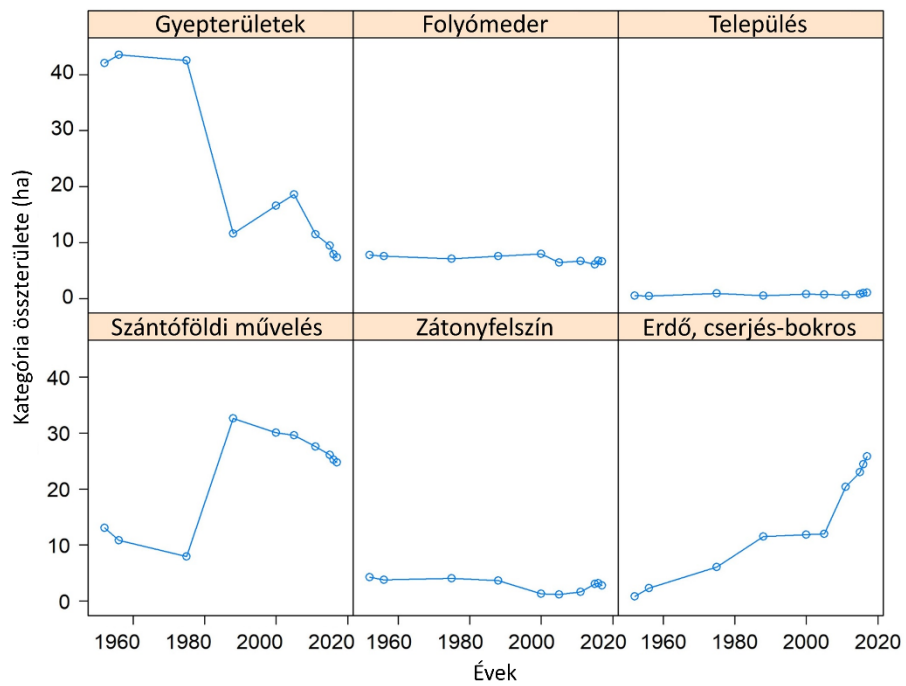
53. ábra: A kanyarulatfejlődési paraméterek időbeli változásai. (A) húr hossz; (B) amplitúdó; (C) szélességgel normalizált görbületi sugar

A statisztikai vizsgálataink során a Sajó medrének átlagszélességét illetően (54. ábra) számottevő visszaesést tapasztaltam az idő függvényében, eredményeinket a Jonckheere-Terpra-teszt igazolta (J-T statistic = 80298; $p = 0.0004$), továbbá negatív korrelációt azonosítottam az átlagos mederszélesség és a kanyargósság (SI) között ($r = -0,93$; $p < 0,001$).

A felszínborításban tapasztalt változások elemzését két fő csoportra oszthatjuk: (1) beépített területek, a folyómeder és a zátonyfelszínek, ahol a változások csekély mértékűek (az általuk elfoglalt területek nagysága többé-kevésbé konstans, miközben az ide tartozó foltok térbeli helyzete változott); (2) szántóföldi parcellák, gyepterületek és erdők, melyek változásai a vizsgálat szempontjából már relevánsak voltak (ezek a folt típusok a vizsgált időszak során részben, vagy teljes egészében átalakultak egy másik típusba). A gyepterületek területe jelentősen lecsökkent, ugyanis ezek a területek a szukcessziós folyamat során fokozatosan alakultak át erdőterületekké, vagy a változó emberi tevékenység során mezőgazdasági művelés alá vonták (55. ábra). Az erdők és bokros felszínborítási foltok összterülete közel 25%-os növekedést mutatott, ezzel egyidőben a gyepterületek is hasonló ütemben zsugorodtak, miközben a zátonyfelszíneket érintő foltok területe nem változott számottevően.



54. ábra: Az átlagos mederszélesség változása a vizsgált három kanyarulat mentén



55. ábra: A felszínborítási kategóriák terület-változásai a vizsgált időszakban

A szántóföldi parcellák területe, melyet főleg az emberi tevékenység befolyásol, az 1980-as évekig jelentősen megnövekedett, azonban a rendszerváltás utáni évtizedekre kissé visszaesett. A folyómedrek és beépített területek foltjainak összterületében nem tapasztaltam jelentős változást.

Az egymást követő időszakokra vonatkozó felszínborítási foltok átalakulásának részletes kontingencia táblázatait a 3. melléklet tartalmazza. A 17. táblázatban összefoglaltam néhány felszínborítási kategória-párt, melyek esetén magasabb átalakulási intenzitást tapasztaltam.

17. táblázat: Az egyes felszínborítási kategóriák konverziós mátrixa (az átalakulások százalékában) a vizsgált időszakban

Átalakulás típusa		1952-1956	1956-1975	1975-1988	1988-2000	2000-2005	2005-2011	2011-2015	2015-2016	2016-2017
Előtte	Utána									
E	Z	0,016	0,019	0,028	0,007	0,013	0,014	0,018	0,005	0,004
Z	GY	0,008	0,016	0,005	0,008	0,002	0	0	0	0
Z	E	0,002	0,005	0,021	0,026	0,012	0,013	0,006	0,005	0,009
GY	E	0,010	0,030	0,049	0,008	0,023	0,088	0,030	0,014	0,007
GY	F	0,008	0,025	0,042	0	0,001	0,005	0,001	0	0
GY	SZ	0,001	0,008	0,326	0,002	0,006	0,010	0,007	0,001	0,001
E	F	0,001	0,002	0,004	0,007	0,003	0,004	0,004	0,006	0,002
SZ	F	0,011	0,011	0	0,017	0,006	0,018	0,015	0,004	0,004

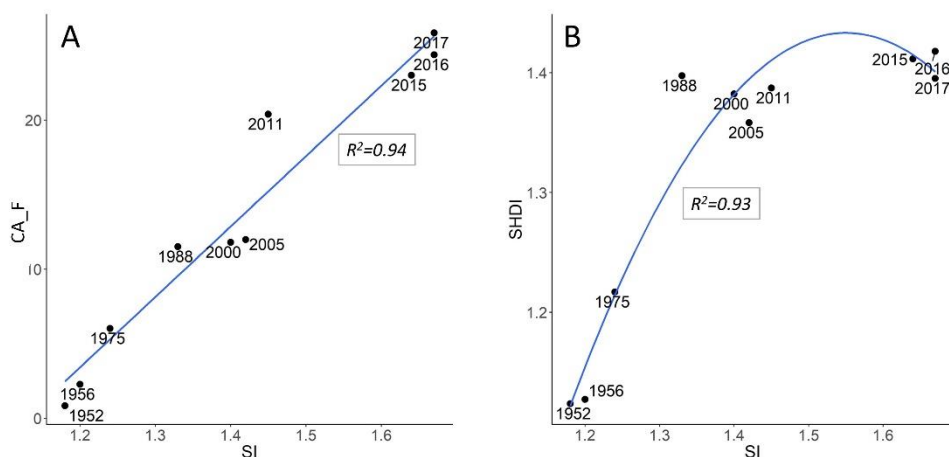
E - Erdő, F – Folyómeder; GY – Gyep; SZ – Szántó; Z - Zátony

Az első négy sorban található átalakulási típusok reprezentálják a szukcessziós folyamat szakaszait. A második legnagyobb átalakulási arány a folyómeder és a zátonyfelszín folt típusok között jelentkezett. Ezt a szakaszt a zátonyfelszíneken megtelepedő vegetáció elterjedése követte, azonban ennek az aránya jóval kisebb volt (többnyire 0,01% alatt) az előző típushoz képest, sőt 2005-el bezárólag teljesen meg is szűnt. Jóllehet a zátonyfelszínnek típusának közvetlen átalakulása erdőfoltokká szintén magas arányt képviselt, viszont ezek az értékek főként hosszabb időszakok (pl. 1975-1980, 1980-1988) esetén jelentek meg. A legszámottevőbb átalakulásokat a gyepterületek és az erdőterületek között tapasztaltam (a kilenc vizsgált időszakból négy esetén legalább 0,03%). Az utolsó négy sorban olyan átalakulási változatokat tüntettünk fel, melyek közvetlenül a mederfejlődés és a laterális parterózió folyamatának eredményeképp alakultak ki, kivéve egyet: a gyepterületek átalakulása szántóföldekké viszont az emberi tevékenység következménye. Ennek a folt típus-párnak az átalakulása egy kimagasló értéket (0,326%) mutatott 1975-1980 között, viszont utána az átalakulás elhanyagolható mértékűre csökkent.

A statisztikai vizsgálatok során lineáris kapcsolatot azonosítottam az erdőterületek (CA_F) növekedése és a folyó kanyargóssági indexe (SI) között ($R^2 = 0,94$; $p < 0,001$; 56/a. ábra). A vizsgált időszak első szakaszában (1952, 1956) mindössze néhány erdőfoltot azonosítottam, azonban ez a felszínborítási kategória 2017-re már 27%-os területarányt ért el; mindemellett a kanyargóssági index alapján 1952-ben csupán egy közel egyenes meder jellemezte a Sajót, aminek a fejlettsége szintén sokkal összetettebbé vált 2017-re. Ezek alapján megállapítható, hogy a

vizsgált Sajó szakazon a folyó mederfejlődése és a környező ártér átalakulása magával vonta az erdőterületek növekedését.

A folyó kanyargóssági indexe (SI) és a Shannon-féle diverzitási index (SHDI) között is szignifikáns kapcsolatot mutattam ki ($R^2 = 0,93$; $p < 0,001$), azonban az erdőterületek változási viszonyaival ellentétben itt a két változó közötti összefüggés nem lineáris (56/b. ábra). A másodfokú polinomiális regressziós egyenlet illeszkedése azt jelzi, hogy a 2011-ig tartó növekvő trend enyhén, de csökkenésnek indult. A 2015, 2016 és 2017. évek adatai a lineáris trendből kívül esnek, ráadásul a diverzitás értékek 2017-ben némileg le is csökkentek.

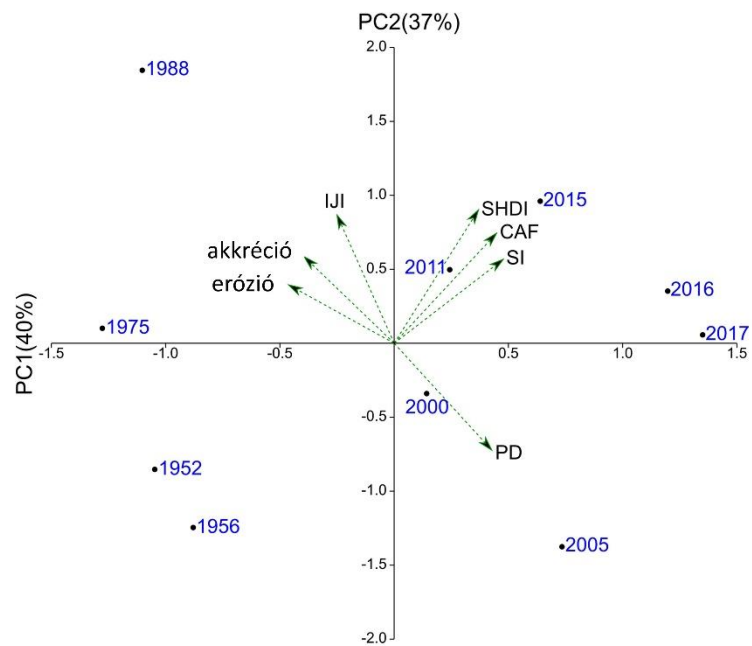


56. ábra: A Sajó-meder kanyargóssága, mint független tényező a vizsgált terület felszínborításának és tájdiverzitásának megváltozásában. (A) A kanyargósság [SI] és az erdőterületek folttípusának [CA_F] kapcsolata; (B) A kanyargósság [SI] és a Shannon-féle diverzitási index [SHDI] értékei közötti kapcsolat

A főkomponens-analízis a teljes variancia 94%-át magyarázza. A három főkomponens (PC) a 0,03-as RMSR indokolta. Az első főkomponens (PC1) a teljes variancia 40%-át magyarázva korrelál az erodált területekkel (Er), az akkréciós területekkel (Acc) és a foltűrűséggel (PD). A második főkomponens (PC2) a teljes variancia 37%-át képviselve korrelál a kanyargóssággal (SI), a tájdiverzitással (SHDI) és az erdőterületek arányával (CA_F); míg a harmadik főkomponens (PC3) egyedül a keveredési és egymásmellettségi index (IJI) határozza meg a teljes variancia mindössze 18%-os részesedésével. Az erózió (Er) és akkréció (Ar) korrelált a foltűrűséggel (PD), míg a kanyargósság (SI) a tájdiverzitással (SHDI) és az erdőterületek arányával (CA_F).

A PCA ordinációs diagramja alapján megállapítottam, hogy az erózió, akkréció és foltűrűség alapján a vizsgált időszakot két, határozottan elkülönülő csoportra osztja (57. ábra). Az első csoport a diagram negatív tartományában, míg a másik, nagyobb csoport pedig a pozitív tartományban helyezkedik el. A második főkomponenshez (PC2) tartozó függőleges tengely mentén vizsgálva az eloszlás 1956 és 1988 között

monoton növekvő trendet mutat, majd 2000-től kezdve ingadozni kezdett. A legalacsonyabb értéket 2005-ben érte el, majd egy újabb emelkedést követően, 2015-től újra elkezdett visszaesni.



57. ábra: A mederfejlődési és tájmetriai indexek értékei alapján készült főkomponens-elemzés biplot diagramja (a szaggatott vonallal jelzett változók jelölik a kísérletbe bevont változókat)

6. Diskusszió

6.1. Sajó hosszú távú mederdinamikájában bekövetkezett változások

A dolgozat célkitűzései között szerepelt a Sajó magyarországi szakaszán végbement mederfejlődés térbeli-időbeli dinamikájának feltárása a rendelkezésre álló közel 60 éves időszakot lefedő archív légifotók és térképi adatbázisok alapján.

A medermorfometriai mutatók részletes elemzése alapján csekélyebb és jelentősebb változásokat egyaránt kimutattam a meder horizontális fejlődésére vonatkozóan. Általánosságban megállapítható, hogy a Sajó hazai szakaszát valamint az általam elkülönített rész-szakaszok fejlődését alapvetően befolyásolták az 1950 óta megvalósult folyószabályozási és árvízvédelmi beavatkozások. Tekintve, hogy nem egy teljeskörű mederrendezés valósult meg, ezért az antropogén hatás közvetlenül nem érvényesült a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszok fejlődése során. Közvetett módon azonban igen, ugyanis ezek a rész-szakaszok egyaránt olyan hosszabb rész-szakaszok között helyezkednek el, melyek fokozott mértékű beavatkozásokkal kerültek módosításra.

A horizontális mederparaméterek térbeli és időbeli változékonysága kellő részletességgel írja le a mederfejlődési folyamatot, mely alapján egyértelműen kirajzolódik, hogy folyásiránynak megfelelően az egyes rész-szakaszok között is alapvető különbségek vannak.

A teljes hazai Sajó szakasz mederváltozásait tekintve kimutattam, hogy az átlagos amplitúdó és az átlagos húr hossz értékek egyaránt csökkentek a tizenkét rész-szakaszból nyolc mentén, különösképpen az R9 és R10 esetén, miközben mindössze az R2 és R6 mentén növekedtek, ezáltal megállapítható, hogy a kanyarulatok rajzolata szűkebbé és térben sokkal koncentráltabbá vált (Hooke 1984). Ennek ellenére néhány rész-szakasz mentén azonosítottam transzlációs és elforduló kanyarulatokat. A mederfejlődésben történt változások az R8 és R10 esetén nagy valószínűséggel kapcsolatban állnak a nagy mellékfolyók (Bódva valamint Hernád) betorkollásával (Phillips és Slattery 2007).

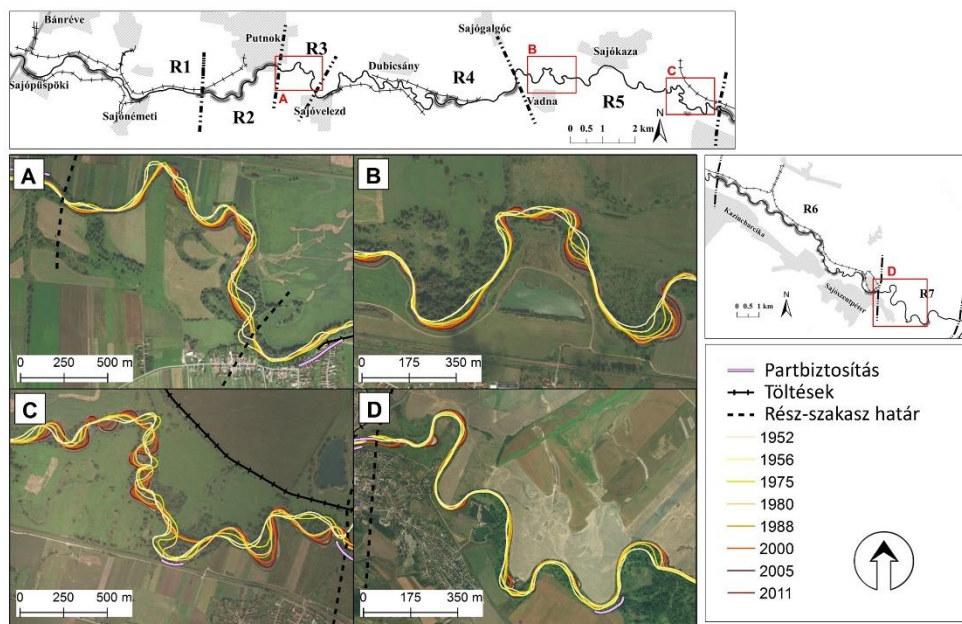
A kanyargóssági index (SI) értékeiben megmutatkozik az emberi beavatkozások mértéke (Timár 2003; Ortega et al. 2014; Sapkale et al. 2016). A mesterségesen átvágott kanyarulatok valamint a későbbiek folyamán kialakított árvízvédelmi töltések és partbiztosítások a kanyargóssági index jelentős csökkenését eredményezték a „Módosított” és „Intenzíven módosított” besorolású rész-szakaszok mentén, míg ez az érték fokozatosan növekedett a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszok esetén (33/d. ábra). Az R8 egy stabil rész-szakasznak bizonyult a beavatkozások hatására, míg az R1 esetén még egy kismértékű negatív irányú változás azonosítható volt, de alapvetően mindkettő enyhén kanyargó jellegű maradt. A többi antropogén hatás alatt álló rész-szakasz (főleg az R2, R4 és R6) esetén a vízügyi tervezés és beavatkozás elérte a célját, ugyanis ezek mentén a teljes kanyargósság tekintetében sikeresen átalakultak meanderező típusból enyhén kanyargó típusba (átlagosan 0,4-0,5 értékű csökkenést mértünk a kanyargóssági index esetén). A mederosztályozás tekintetében az „Természetes” és „Enyhén szabályozott” rész-szakaszok közül az R3 és R5

ellenkezőleg, enyhén kanyargóból meanderező típusúvá fejlődött, ugyanis a kanyargóssági indexük 1,4 és 1,39-es értékről 1,67 valamint 1,61-es szintig növekedett. A további meanderező rész-szakaszok fejlődése fokozódott, kivéve az R11-et. Jóllehet, ezek a pozitív irányú kanyarulatfejlődési értékek nem kimagasló mértékűek, azonban egyértelműen jelzik, hogy az emberi beavatkozások által csak csekélyen bolygatott vagy azokat teljes mértékben nélkülöző rész-szakaszok mentén fokozatos fejlődés tapasztalható, ahogyan azt hasonló jellegű európai folyók esetén is feltárták más kutatások (Keesstra et al. 2005; Blanka and Kiss 2011; Dragičević et al. 2017).

Korábbi tanulmányokban kimutatták, hogy a mederrendezések hatására az adott szakasztól alvízi irányban egy eróziós határértéket meghaladóan az áramlási sebességek megnövekedése jellemző (Brookes 1987). Ettől függetlenül nehéz egyértelműen azonosítani a folyószabályozások és partvédelmi beavatkozások kanyarulatfejlődésre gyakorolt hatását (Dépret et al. 2017), ugyanis ez a folyamat számos további hatótényező együttes kölcsönhatása alapján megy végbe (Michalková et al. 2011). A folyószabályozások, azon belül is a mesterséges kanyarulatátmetészek leggyakoribb következménye a folyásirány mentén lentebb jelentkező bevágódás (Wyžga et al. 2016). A hidrológiai adataink idősoros elemzése alapján azonban jelentős mértékű bevágódási folyamatot nem sikerült azonosítani (8. ábra). Ez azonban még további elemzéseket igényel, különös tekintettel a meder keresztzelvényeinek változásvizsgálata alapján. Darby és Thorne (1992) tanulmányában bemutatta, hogy a folyómeder bevágódása a partfalak relatív magasságnövekedését eredményezi, ez pedig a partfal anyagában megjelenő instabilitáshoz vezet. Ez pedig a parterózió, s ezáltal a kanyarulatfejlődés egyik legelső fokozata. Habár vizsgálataink között nem szerepelt a bevágódás ilyen jellegű vizsgálata, azonban eredményeink alapján szembevetendő, hogy az általam lehatárolt és intenzívebb kanyarulatfejlődési értékekkel rendelkező „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszok egyértelműen beékelődnek az „Módosított” és „Intenzíven módosított” besorolásúak közé, tehát a szabályozásokat folyásirányban követő parterózió fokozódása mindenképpen megjelenik.

Az „Intenzíven módosított” R1 és R2 valamint a „Módosított” R4 rész-szakaszok teljes hossza 21,3 km, ezek közé ékelődik be a „Természetes” típusú R3 (58/a. ábra). Az R1 és R2 rész-szakaszok mentén ráadásul számos korábbi kanyarulat-átmetés is megvalósult (9. táblázat), továbbá a második legintenzívebb partbiztosítási arány is az R2 rész-szakaszra jellemző. Ezek a körülmények együttesen lehetővé tették az R3 mentén tapasztalt fokozódó kanyarulatfejlődést, ugyanis korábbi szerzők munkái alapján a partvédelmi kibetonozott rézsűk végén egyre intenzívebbé válik a meder kimélyülése és ezáltal későbbi alámosása, ami a partfalak folyásirány menti instabilitásának okozója (Parker and Andres 1976; Brookes 1987).

Az antropogén beavatkozás sokkal egyértelműbb hatását az „Enyhén módosított” R9 rész-szakasz mentén azonosítottam, ahol egy jelentős mértékű (1,35 km hosszú) kanyarulat átvágást valósítottak meg a rész-szakasztól folyásirányban fentebb, majd az újonnan létrehozott medret alaposan elláttak partbiztosításokkal is (59/b. ábra), sőt napjainkban is ez az egyik legintenzívebb parteróziót okozó rész-szakasz.

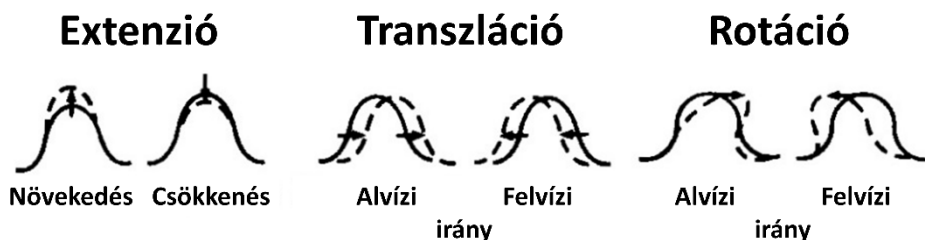


58. ábra: A kanyarulatfejlődés térbeli és időbeli kiterjedései a Sajó „Természetes” (R3) és „Enyhén módosított” (R5, R7) rész-szakaszai mentén

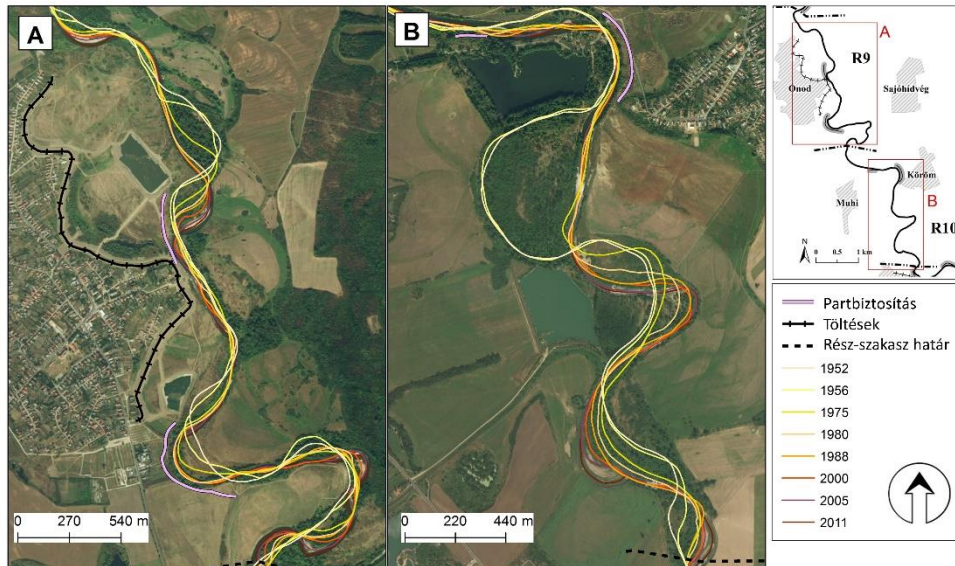
Az eredményeink alapján ezt követően néhány éven belül folyásirány mentén lentebb az egyik legkiemelkedőbb mértékű translációs típusú kanyarulatfejlődés ment végbe.

A Sajó hazai szakaszának mederdinamikai elemzése valamint a Hooke és Harvey (1983) szerinti osztályozási rendszer (59. ábra) alapján a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszok mentén az alábbi konzisztens medervándorlási és kanyarulatfejlődési típusok azonosíthatók:

1. *Extenzió* – 58/a, 58/c, 60/a. ábrák
2. *Transzláció* – 58/a, 60/a, 60/b. ábrák
3. *Rotáció* – 58/b, 58/d. ábrák
4. *Összetett meanderek kialakulása másodlagos kanyarulatívekkel* – 58/b, 60/a. ábrák



59. ábra: Egyszerű kanyarulatfejlődési típusok meanderező folyók mentén (Hooke és Harvey 1983 nyomán)



60. ábra: A kanyarulatfejlődés térbeli és időbeli kiterjedései a Sajó „Enyhén módosított” (R9, R10) rész-szakaszai mentén

A 12/a. táblázat alapján megállapítottam, hogy a kanyarulatok teljes száma csökkenő tendenciát mutatott 1980-ig az antropogén, főleg az ipari célú mederrendezési munkálatok következtében, majd onnan ismét növekedni kezdett. Ezen kívül a kanyarulatok átlagos húr hosszai és amplitúdói is csökkentek, ez alapján pedig arra következtetünk, hogy új és kisméretű kanyarulatok kialakulása kezdődött meg. Jóllehet a Sajó mederrendezési munkálatai során megszüntetésre kerültek a túlfelzárkózott meanderek, azonban, különösképpen a természetes besorolású rész-szakaszok mentén, 1980 után ismét megindult a mederfejlődés. Ez megfigyelhető volt a Sajó teljes hazai szakaszára meghatározott hossz-változások alapján is (12/b. táblázat).

A meanderező típusú kanyarulatok részaránya folyamatosan csökkent, míg az 1,05 és 1,25 közötti kanyargóssági indexszel rendelkező kanyarulatok kategóriájában növekedést tapasztaltam. Mindezek alapján arra következtetünk, hogy a kanyarulatok hosszának növekedése nem a már meglévő meanderek továbbfejlődésében jelenik meg, ahogyan azt már más folyókon megfigyelték hasonló kiindulási körülményeket követően (Sarma et al. 2007; Yao et al. 2013; Hajdukiewicz és Wyżga 2019).

A legcsekélyebb mederfejlődési dinamikát a kevésbé fejlett kanyarulatok ($SI < 1,05$) mentén tapasztaltam, ez megfelel Hickin és Nanson (1975) elméletének, miszerint a nagyobb mederváltozás a nagyobb görbültséggel rendelkező kanyarulatok mentén indul meg. A szélességgel normalizált görbületi sugár (R/w) tekintetében a legtöbb kanyarulatfejlődési modell (Brice 1974; Hickin és Nanson 1975; Hooke 2007; Sylvester et al. 2019) esetén a Sajóhoz hasonló folyók kanyarulatainak alakja idővel beszűkül majd elnyúlik. A 34. ábra alapján, a Sajó a természetes besorolású rész-szakaszok kanyarulatai stabilitást és az R10 kivételével

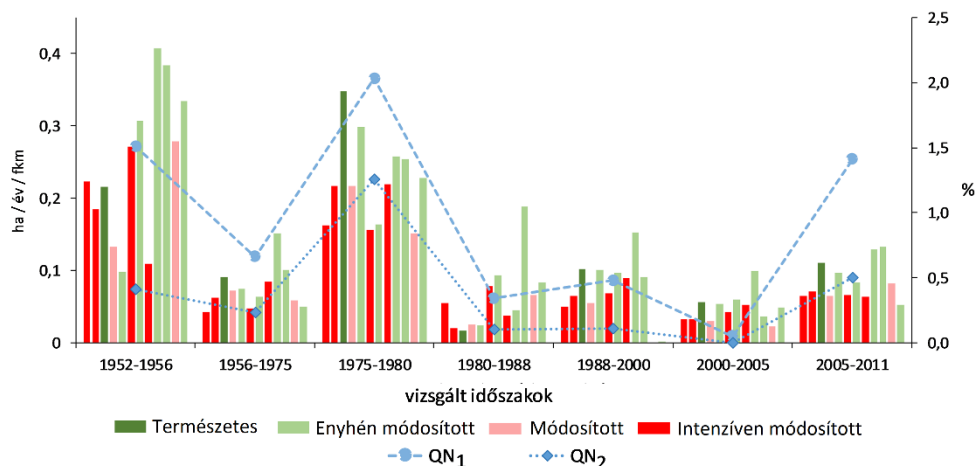
enyhe csökkenést mutatnak, ezáltal a Sajó kanyarulatfejlődési dinamikája nem tekinthető egyedülállóknak.

Korábban már számos szerző vitatta, hogy az intenzív laterális parterózió egyik fő kiváltó oka az ún. mederformáló vízhozam (Gautier et al. 2007; Rusnák et al. 2016). Ez a folyamat pedig fokozottabbá válhat a sűrű partmenti vegetáció hiányában (Keesstra 2007). Természetesen a két tényező közötti korreláció mértéke nem érte el az olyan intenzíven fejlődő folyókét, mint a Rio Beni Bolíviában ($r=0,96$ - Gautier et al. 2007). Az eredményeink azonban jelentős hasonlóságokat mutattak az Európában tapasztalt nagyságrendekkel. Ondruch and Máčka (2015) a Morva (Csehország) mentén végzett elemzéseik alapján azt állapították meg, hogy a mederformáló vízhozamot elérő vagy azt meghaladó vízhozamok időtartama és a parterózió mértéke közötti korreláció mértéke elérte a 0,57-et. A vizsgálataikat azonban mindössze egy 5,5 km hosszú szakaszon végezték, amely mentén a meanderező szakaszok esetén ez a korreláció mindössze 0,26 volt. A Sajó mentén ezzel szemben 0,59; 0,61 valamint 0,59 mértékű korrelációt állapítottam meg a teljes szakasz, a természetes és az antropogén besorolású rész-szakaszok esetén is (4. melléklet).

Az átlagos mederelmozdulás tekintetében az előzőekkel ellentétben a Sajó mentén magasabbat mértünk más, a Kárpát-medence vízrendszeréhez tartozó folyók mentén tapasztaltaknál. A szlovákiai Topľa és Ondava folyók mentén ez az érték 0,8-1,5 valamint 1,15-1,45 méter/év között alakult (Rusnák et al. 2014, 2016).

A mederváltozás dinamikájáról további adalékkal szolgál az erodált és akkumulált területek kiterjedésének meghatározása. Önmagában a meder középvonalának elmozdulása ugyanis egyaránt maga után vonhat kisebb illetve nagyobb mértékű parteróziót is attól függően, hogy mekkora méretű kanyarulatok társulnak az adott oldalazó szakaszhoz. Az 1952-1956 közötti időszakban kimagasló mértékű parteróziót (32 ha/év) és ezzel egyidőben akkumulációt (45 ha/év) mértünk. A mesterséges kanyarulat-átmetszések megvalósítása 1980-ra befejeződött (61. ábra). Jóllehet az 1975-1980 közötti időszakban 0,5%-kal magasabb volt a mederformáló vízhozamot meghaladó időszakok aránya, azonban az 1952-1956 közötti időszakban ennek ellenére magasabb parteróziós rátát tapasztaltam. Ennek oka az volt, hogy a mederrendezési munkálatok ekkor voltak a legnagyobb mértékűek. Az első vizsgált időszakban megvalósított jelentős mértékű meder-kiegyenesítést követően egy hosszú (19 év) és kevésbé dinamikus periódus következett. Az 1975-1980 közötti időszakban az 1,1 és 2 éves visszatérési idejű vízhozamok azonban számottevően gyakoribbá váltak, ez pedig ismét intenzív parteróziós (26 ha/év) és akkumulációs (28 ha/év) folyamatokat idézett elő a Sajó mentén. A többi vizsgált időszakban azonosított mederváltozások a vízhozamok időbeli változásaihoz illeszkedtek, ahogyan azt korábban már a Hernád mentén is megfigyelték (Blanka 2010; Blanka és Kiss 2011; Kiss és Blanka 2006, 2012).

Eredményeink alapján megállapítottam, hogy a továbbiakban a Sajó vízhozama nem fejtett ki a korábbiakban azonosított mértékű hatást a Sajó mederfejlődési dinamikájára, ugyanis a 2005-2011 közötti árvizes időszakot követően is csak csekélyebb mértékű mederváltozást mutattam ki. A Sajó vízrendszere tehát ilyen tekintetben fokozatosan egyre kevésbé dinamikussá alakult.



61. ábra: A parterrózió intenzitása (ha/év/fkm) és a különböző visszatérési idejű vízhozamok tartóssága (%) a vizsgált időszakokban a 12 meghatározott rész-szakasz mentén

A Sajó és mellékfolyóinak mederváltozását feltáró eddig megjelent tanulmányok részletesebben tárgyalták egy-egy kiválasztott szakasz vagy néhány kanyarulat esetén a meanderezés térbeli-időbeli alakulását, azonban kivétel nélkül mindegyik nélkülözte a folyó teljes rendszerként kezelését (Sallai 2006; Kozma et al. 2014; Rác 2014; Kozma 2015; Bertalan et al. 2015, 2016).

A főkomponens-analízis eredményei alapján megállapítottam, hogy az általam részben szubjektív értékelés alapján lehatárolt rész-szakaszok két fő csoportja, a “természetes” (természetes és enyhén módosított típusúak) valamint az “antropogén” (módosított és intenzíven módosított típusúak) között nyilvánvaló különbségek vannak. Néhány morfológiai elem mentén bizonyos esetekben enyhe eltérések is megfigyelhetők (37. ábra). Ennek fő oka, hogy vizsgálatomban egy teljes áttekintést végeztünk az 59 éves időszakra vonatkozóan, azonban egyes antropogén eredetű változók, mint például a partbiztosítások kizárólag a kezdeti időszakokban kerültek kialakításra. Ezzel ellentétben a kezdeti rész-szakasz lehatárolásom során az “antropogén hatás” mértékét egy konstans értéknek vettem a teljes időszakra vonatkozóan. Ez magyarázza azt a tényt, hogy a 37. ábra biplot diagramján néhány évben antropogén besorolású rész-szakaszok átfedő helyzetben vannak a természetes rész-szakaszok adatpontjainak halmazával és néhány esetben az ellentétes eset is megfigyelhető.

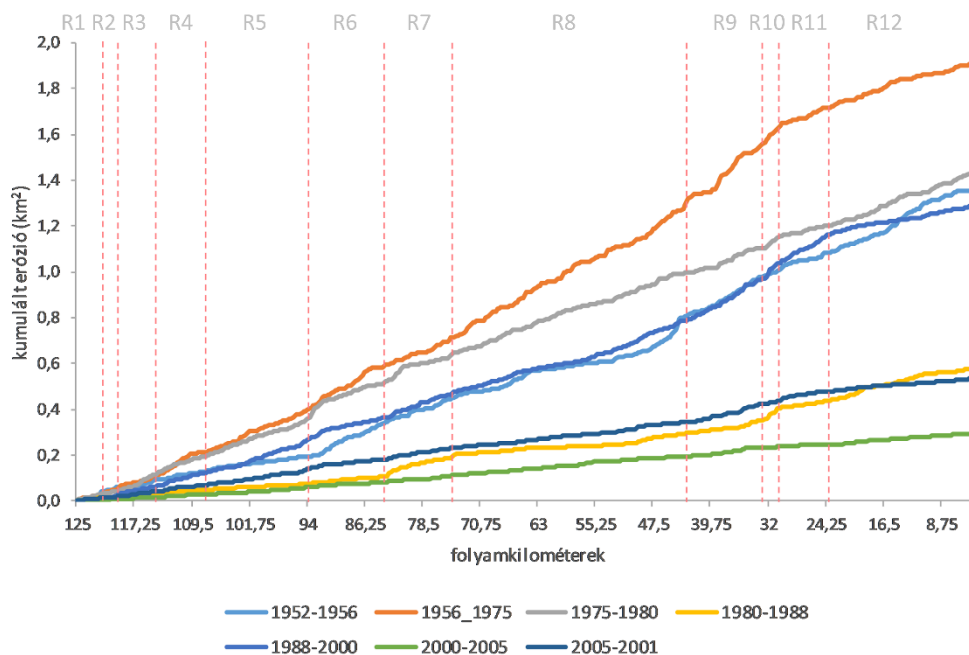
A 13. táblázat adatai alapján az R3 rész-szakasz mentén 1952-1956 között az R2 és R6-hoz hasonlóan magas partelmozdulást mértünk. Miközben ez a folyamat drasztikusan lecsökkent az intenzíven módosított szakaszok mentén, az R3 esetében nem történt a szakasz mentén közvetlen beavatkozás a mederbe. Tekintve, hogy az egyetlen teljesen *természetes* besorolású R3 rész-szakasz az *intenzíven módosított* R2 és a *módosított* R4 között helyezkedik el, ezért mindezek alapján arra következtünk, hogy a mederrendezés és a partbiztosítás és az ennek hatására

végbemenő parterózió és mederelmozdulás a természetes szakaszok mederdinamikájára is hatással van. Jóllehet az emberi beavatkozás hatására csökkenő parteróziós folyamatokat már más európai folyó vizsgálatánál is sikerült kimutatni (Simon és Darby 2002; Zawiejska és Wyżga 2010; Blanka és Kiss 2011; Kiss és Blanka 2012), azonban a Sajó esetén ez a helyzet csak ideiglenesen állt fenn. A kezdeti csökkenést követően azonban ismét növekedni kezdett a parterózió mértéke. A folyamat azzal magyarázható, hogy a nem megfelelően kialakított partvédelmi műtárgyak esetenként csak egy rövid időszak idejére képesek csökkenteni a parterózió intenzitását, azonban ez idővel újra megindulhat (Surian 1999; Wang et al. 2016; Yousefi et al. 2016).

A főkomponens-analízis során megfigyeltünk az előbbiekkal ellentétes eseteket is, melyek során az *antropogén* besorolású rész-szakaszok néhány időszak esetén átfedésbe kerültek *természetes* besorolású rész-szakaszokkal. Ilyen többek között a *módosított R11* valamint az *intenzíven módosított R8* rész-szakasz. Ebben az esetben az eltérések azzal magyarázhatók, hogy e szakaszok mederdinamikáját és az ebből adódó statisztikai jellegzetességeket nem az eróziós/akkumulációs vagy laterális mederelmozdulások intenzitása befolyásolja, hanem sokkal inkább a horizontális medermorfometriai paraméterek térbeli-időbeli változékonysága. Jóllehet mindkét rész-szakasz esetén a mederrendezések során a kanyarulatokat szinte teljes mértékben stabilizálták (leginkább partbiztosításokkal valamint közeli árvízvédelmi töltésekkel), viszont ezeken a szakaszon a kanyarulatok alakja egy viszonylag fejlett állapotban, vagyis viszonylag magas amplitúdó és kanyargóssági index értékekkel maradt fenn. Abban az esetben, ha a második főkomponenst alkotó parteróziós és laterális mederelmozdulások hatását nem vesszük figyelembe, akkor ezek a rész-szakaszok az adott időpontokban (pl. 1980) nagyfokú hasonlóságokat mutatnak a *természetes* rész-szakaszok alaktani tulajdonságainak térbeli-időbeli változásainak nagyságrendjével (Micheli és Larsen 2004; Mecser et al. 2009; Dragičević et al. 2017).

Megvizsgáltam, hogy pusztán a parterózió részletes elemzése alapján is lehetséges-e hasonló jellegű rész-szakaszok elkülönítése. Ennek érdekében a 11/b. ábrán ismertetett számításokat részletesebb formában is elvégeztem. Az egymást követő időszakokban egymással fedett, majd erózió/akkréció/átdolgozott ártér típusnak megfelelően kódolt meder-poligonokat 250 méterenként feldaraboltam és a területértékeket újra-számítottam. Ezt követően pedig a szlovák-magyar határtól folyásiránynak megfelelően haladva, kumulált parteróziós görbét számítottam minden vizsgált időszakra vonatkozóan (62. ábra). A számítás eredményeképpen a Sajó hossz-szelvénye mentén kimagasló részletességgel, időszakonként közel 500 db szegmensben tudtam kimutatni a parterózió intenzitását.

A Sajó hossz-szelvénye mentén ábrázolt kumulatív parteróziós görbékre merőlegesen bejelöltem az általam elkülönített rész-szakaszok határait is. A 62. ábra alapján megállapítható, hogy a kumulatív görbék futásának számos töréspontja is van, ezek pedig többnyire fedésben vannak az általam kijelölt rész-szakasz határokkal. Az R1-R4 rész-szakaszok rövidege miatt a töréspontok illeszkedése nehezen meghatározható, azonban az R6, R9, R10, R12 rész-szakaszok mentén egyértelműen azonosítható a töréspontok és határok egyezése.



62. ábra: Kumulált parteróziós görbék a Sajó hazai szakaszának hossz-szelvénye mentén a vizsgált időszakokban

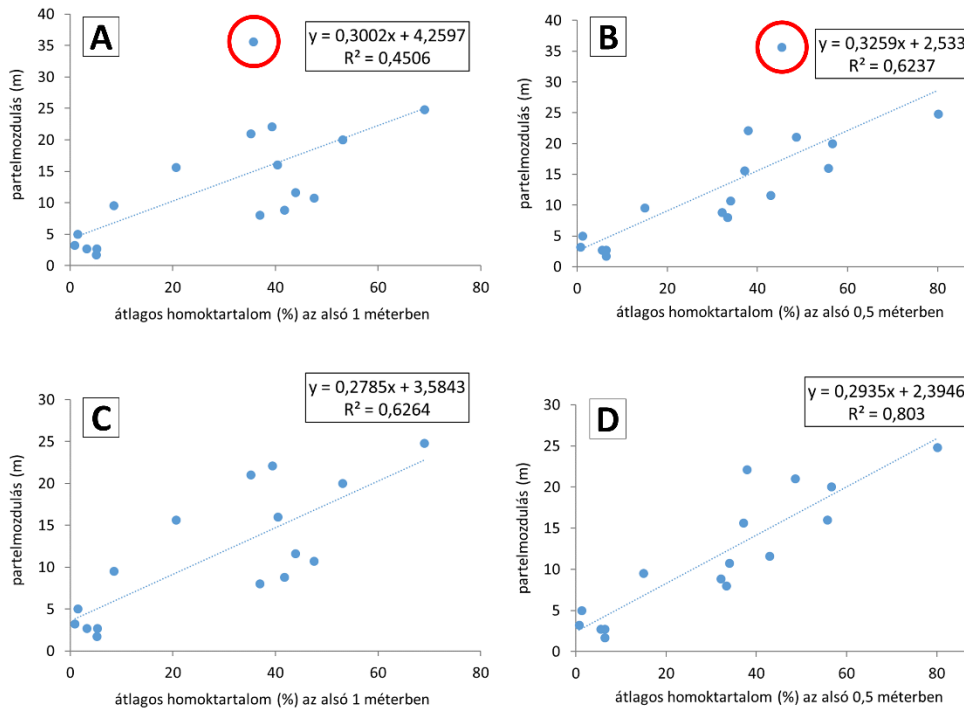
6.2. A Sajó rövidtávú mederdinamikájában bekövetkezett változások

6.2.1. A partelmozdulás és a partfalak szedimentológiai tulajdonságainak kapcsolata

A Sajó mentén négy kiválasztott kanyarulat-rendszer mentén UAV-eszközökkel számszerűsítettem a kanyarulatfejlődés és a hozzá kapcsolódó parterózió mennyiségének térbeli-időbeli változásait.

Az elemzéseim során arra kerestem a választ, hogy az eltérő jellegű kanyarulatok parteróziójának intenzitása mennyire függ össze a partok anyagának szemcseösszetételével. A parterózió intenzitása több paramétertől is függ, azonban a folyópart stabilitása szempontjából az alsó 1 méterben domináns szemcsefrakciók, azon belül is a homok részaránya az egyik fő meghatározó tényező (Kiss és Blanka 200; Blanka 2010; Rădoane et al. 2013; Kis és Lóczy 2018).

Mindezek alapján megvizsgáltam, hogy az általam kimutatott partelmozdulások valamint a kanyarulatokban vett talajminták szedimentológiai tulajdonságai között van-e összefüggés. Az UAV-alapú parterózió-monitoring vizsgálataink során 10-20 méterenként szerkesztett kereszt-szelvényekkel határolt szektorokban számítottam a part elmozdulását. A talajmintavételek térbeli helyzete alapján kigyűjtöttem az adott szektorokban mért teljes laterális mederelmozdulásokat, majd lineáris regresszió segítségével megvizsgáltam a két változó közötti kapcsolatot (63. ábra).



63. ábra: A partelmozdulás és a partok aljában mért átlagos homoktartalom kapcsolata

Az eredményeink alapján megállapítható, hogy a partelmozdulás mértéke és a partfalak aljában található homoktartalom között statisztikai kapcsolat van. Más szóval, a partfalak aljában lévő homoktartalom növekedése esetén intenzív parterózió várható. A determinációs együtthatók (R^2) alapján a szorosabb függvénykapcsolat az alsó fél méteres partfalszakaszokon jellemző (63/b. és 63/d. ábrák).

Megfigyeltem továbbá, hogy a 63/a-b. ábrákon egy-egy kiugró elem is található. Az adatsor áttekintése alapján kiderült, hogy ez a nagycsécsi mintaterület második kanyarulatának N2 fúrásmintája (15/d. ill. 50. ábrák). Ha ennek a talajfúrásnak az eredményeit nem vesszük figyelembe, akkor sokkal szorosabb becslést adhatunk a partelmozdulásokra (63/c-d. ábrák), az alsó fél méteres sáv viszonylatában az R^2 értéke 0,803-ra emelkedik. Ennek magyarázatára két dolog is lehetséges. Egyrészt a vizsgált kanyarulatok közül ezen a kanyarulatíven a homoktartalom mindössze közepes (~40%) szintű, miközben kimagasló, 35 méteres elmozdulást mértünk a partvonalban. Jóllehet tehát, hogy a homoktartalom nem számít magasnak, azonban mindemellett az N1, N2 kanyarulatokban már megnövekedett a durvább, kavicsos üledékek részaránya a partfalak alsó felében, ráadásul éles rétegváltások is azonosíthatók a partfal profiljában (64. ábra). Az ilyen jellegű partfáltípusoknál egy áradást követő vízhozam-csökkenés nagyobb mennyiségű üledéket képes elmozdítani a partfalak alján, majd a felette elhelyezkedő, kötöttebb agyagos üledék



64. ábra: A partfal szerkezete a nagycsécsi N2 fúrás minta környezetében (Fotó: 2019.03.27)

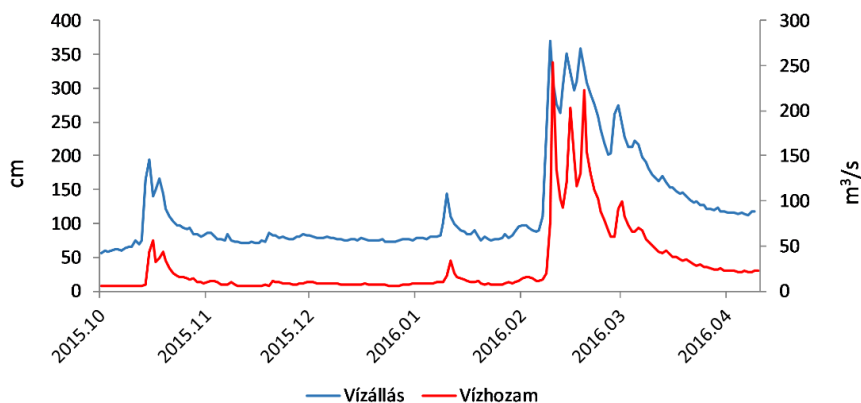
összefüggőbb tömböket alkotva omlik be a mederbe, ezzel együtt nagyobb laterális mederelmozdulást okozva. Mindezek mellett a nagycsécsi első és második kanyarulat egyaránt egy elnyújtott rotációs meandertípus, ahol a sodorvonal 100-200 méter hosszú enyhe görbületű ívben ütközik a külső ív partfalának. Ennek ellenére a nagycsécsi mintaterület első kanyarulatának CS5 fúrás mintája esetén a partfal alsó egy méterében közel 70%-os homoktartalmat mértünk, miközben a teljes partelmozdulás értéke 25 méter volt. Ez pedig közel 10 méterrel kevesebb az N2 esetén kimutatott elmozdulástól. A két kanyarulat közötti különbségek magyarázata azonban további kutatási módszereket igényel.

6.2.2. A sajószentpéteri eróziós esemény lehetséges okai

Az 5.2.1.2. fejezetben ismertettem a sajószentpéteri mintaterületen 2016 áprilisában azonosított eróziós eseményt. Az folyamat kialakulásában véleményünk szerint több tényező is szerepet játszhatott.

Megvizsgáltam a két időpont közötti időszak hidrográfját, s egyértelműen azonosítottam egy kimagasló tavaszi árhullámot. A Sajó vízszintje 2016 februárjában mindössze két hét alatt érte el a 358 cm-es tetőzést (65. ábra), miközben a vízhozam maximuma 254 m³/s volt, ami a sajószentpéteri vízmérce középvízhozamának a tizenegyszerese.

Az alig egy méteres partmagasság következtében a mederformáló vízhozam többszöröse intenzíven erodálhatta az érintett partszakaszt. A vizsgált kanyarulat-ívhez jelentős vízgyűjtő-terület is kapcsolódik kelet felől, árvízi védművek nélkül, s a vizsgált szakaszba becsatlakozó lefolyások irányában a folyópart intenzív hátravágódásba kezdett.

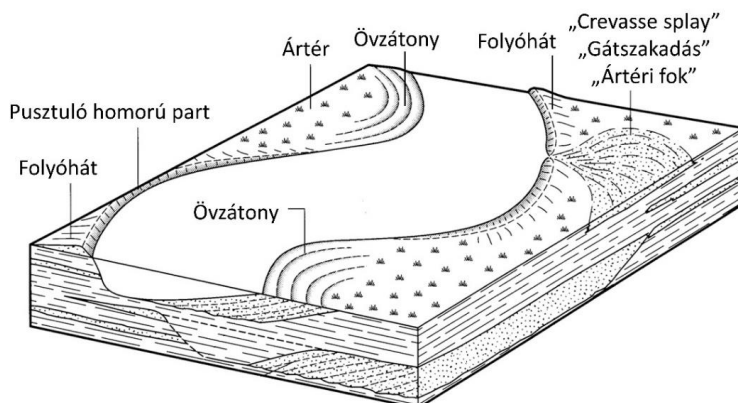


65. ábra: A vízjárás és vízhozam alakulása a sajószentpéteri vízmércén az UAV-lerepülések két időpontja között

A vizsgált eróziós esemény geomorfológiai értelemben ún. „crevasse splay”-ként azonosítható. A magyar nyelvű szakirodalomban leggyakrabban „gátszakadás”-ként (Geiger 2004; Geiger és Gulyás 2005) vagy ártéri fokként említett fluviális eredetű forma alapvetően hasonlóságot mutat a hordalékkúpok és delták fejlődésével.

Az ártéri fokokat a Tisza-menti ártéri gazdálkodásban irányított körülmények között hatékonyan hasznosították, ugyanis természetes kapuként képesek voltak levezetni a nagyobb árhullámokat, apadás esetén pedig visszavezették a víztömeget a főmederbe (Szigyártó 1991; Tamás és Kalocsa 2002). Az apadás lassan ment végbe, ezért időszakosan elgátolt terekkel kiválóan alkalmas volt halászati célokra is (Andrásfalvy 1970; 2002).

Kialakulása a kanyarulatok külső ívéén akkumulált folyóhátakhoz köthető (66. ábra). Jelentősebb árhullám esetén, ha a víztestben szállított nagy sűrűségű hordalék van jelen, akkor az ártéri a folyóhátat, majd az addig elszigetelt ártéren terül szét (Brierley és Fryirs 2005; Charlton 2008). Ha a folyó aktuális fajlagos munkavégző képessége magas, akkor megindul az általam is azonosított hátravágódás is.



66. ábra: Az ártér szerkezete meanderező folyók esetén (Charlton 2008. nyomán)

A szakirodalom szerint a laterális eróziótól és átvágástól mentes folyószakaszokon hosszú ideig változatlanul tekinthető a meder, s jellemzően itt a legmagasabbak (1-2 méter) a folyóhátak vagy másnéven parti gátak (Schweitzer et al. 2002; Gábris 2003; Kovács 2007; Kiss et al. 2018). Az elmélettel szemben azonban a sajószentpéteri kanyarulat azonban egyáltalán nem rendelkezik korábban felhalmozódott, vertikálisan kimagasló folyóháttal.

A különböző folyókon végzett elemzések alapján általában a folyók a folyóhát túloldalán először a durvább szemcseméretű, leginkább homokfrakcióval jellemezhető hordalékot rakja le (Steiger és Gurnell 2002; Carroll et al. 2004). Abban azonban eltérő eredmények születtek, hogy ezt a hordaléktömeget a folyók milyen szélességben akumulálják a folyóhát mögötti mentett ártéren. Egyes szerzők szerint 10-20 méter távolságig (Zhao et al. 1999; Kiss et al. 2002), mások szerint ez elérheti akár a 60-80 méteres kiterjedést is (Hudson és Heitmüller 2003; Oroszi 2008). Ezzel szemben a sajószentpéteri kanyarulat mentén kihordott hordalék maximális távolságát 91 méternek azonosítottam.

A kanyarulat fejlődéstörténetének részletesebb geomorfológiai értelmezése azonban további felméréseket (pl. légi LiDAR-alapú domborzatmodellek vizsgálata) igényel.

6.3. A Sajó kanyarulatfejlődésének ökológiai vonatkozásai

A folyók medermorfológiai jellegű változásai intenzív módosításokra képesek a környezetükben, ezek pedig tovább hatással vannak a térség hidrológiai egyensúlyára, sőt akár a biodiverzitásra is. A vizsgálat tárgyát képező Sajó folyó egy kiváló példája ennek a jelenségnek. Maga a Sajó hazai mederszakaszának csak bizonyos részei mentén történtek folyószabályozási jellegű beavatkozások, ill. mederrendezések, ráadásul a medermorfológiai fejlődését a Tisza is befolyásolja, melybe Tiszaújvárosnál torkollik. A jelen vizsgálatban elemzett mintaterület mindössze 20 folyamkilométernyire helyezkedik el a torkolattól, ami alapvetően befolyásolja a vizsgált mederszakasz hordalékszállítását és mederfejlődését.

A Tisza folyó medrének átfogó szabályozása a 19. század második felében valósult meg, ennek egyik eredményeképpen azonban már több tanulmány is kimutatta, hogy a Tisza medre fokozatosan bevágódik a kanyarulatátmetészek hatására bekövetkezett energiatöbblet hatására (Kiss et al. 2008; Amissah et al. 2018). Ez a folyamat hatással lehet a Sajó folyó medermorfológiájára is. A szabályozásokat követően a Tisza vízrendszerében további jelentős beavatkozások történtek a 20. század során is. Az elektromos energia kitermelése érdekében két vízlépcső épült a Sajó torkolattól folyásirányban felfelé (Tiszalök, 1954), valamint lefelé (Kisköre, 1978). Az ilyen jellegű létesítmények geomorfológiai jellegű hatása, hogy folyásirányban lefelé lecsökkentik a hordalék-utánpótlást, ezáltal a későbbiekben hozzájárulnak a bevágódás folyamatának fokozódásához (Brierley és Fryirs 2005). Az eredményeink alapján kimutattam ugyan a Sajó vizsgált szakaszán az átlagos mederszélesség fokozatos csökkenését, ami utalhat a lehetséges bevágódásra. Ennek ellenére a meder tovább folytatta a kanyarulatfejlődést, ez pedig

maga után vonta a környező területek felszínborításában, konzervációs értékében és termékenységében bekövetkező változásokat (Cserkész-Nagy et al. 2010).

Más, hasonló jellegű európai folyó mentén is kimutatták már (Lotsari et al. 2014; Rusnák és Lehotský 2014; Ondruch és Máčka 2015), hogy a morfológiai paraméterek pozitív irányú fejlődése magas parteróziós rátákat eredményez. Ezt kimutattam a vizsgált Sajó szakasz esetén is, viszont a mezőgazdasági területek parterózió általi eltűnésének mértéke nem számít kimagaslónak a hasonló földrajzi környezetben vizsgált folyókétól (Rusnák et al. 2016). A komplex, jövőbeni vizsgálatok koncepcióiban feltétlenül szerepelnie kellene a medermorfológiai elemek fejlődése, a biodiverzításban végbemenő változások és a parterózió mértéke közötti összefüggések feltárásának is.

Jelen vizsgálat eredményeinek értelmezésekor fontos megjegyezni, hogy a külső ív pusztulását folyamatosan követte a horizontális akkréció általi partépülés a belső íven; új övzátony-sorozatok sorozata jött létre viszonylag rövid idő alatt. Habár kezdetben ezek a többnyire fedetlen zátonyfelszínek ökológiai értelemben kevésbé értékes térszínek, viszont jövőbeni potenciális élőhelyekké válhatnak (Lotsari et al. 2014). Eredményeink alapján bemutattam, hogy abban az esetben, ha a vegetáció rövid idő alatt meg tud telepedni az érintett övzátonyok zónájában, akkor hatékonyan meg tudja növelni az élőhelyek kiterjedését az ökológiai folyosókban. A vizsgálat Sajó-szakasz ráadásul két Natura2000 terület között helyezkedik el, így a mederfejlődés egyértelműen fokozza az élőhelydiverzitás és a faj-konnektivitás fejlődését az ökológiai hálózat aegységei között. Ezáltal a terület ökológiai folyosó jellege is erősödik, ami egy lehetséges kompenzációját adhatja a partpusztulásból adódó tájdegradációnak.

A szakirodalomban publikált korábbi tanulmányok többsége (Szalai et al. 2013; Tosic et al. 2014; Das et al. 2017) főleg a folyók laterális parteróziójának kizárólag a közvetlen (mezőgazdasági művelés alatt álló és lakott területek pusztulása, árvízi elöntés) és közvetett (a forrásvidékről származó szennyezőanyagok felhalmozása az ártéren vagy a korábban felhalmozódott nehézfém-szennyeződések átmozgatása) negatív hatásaira koncentrálnak, s csak mindössze néhány kutatás foglalkozik a folyama ökológiai következményeivel. Bizonyos esetekben az eltérő éghajlati sajátosságok mellett a folyómedrek oldalirányú elmozdulása gyors ütemben csökkentheti a környező flóra és fauna biodiverzitását (Rahman és Islam 2018), azonban a vizsgált Sajó szakaszon (és többnyire a teljes hazai szakaszon) szinte kizárólag a szántóföldi parcellákat sújtja a partpusztulás. Vizsgálataim során ráadásul bemutattam a folyamat ellentétes megközelítését, vagyis hogy a folyamatot milyen szempontok alapján tekinthetjük értékesnek? A medermorfológiai és tájmetriai mérőszámok változását tekintve a kanyargóssági index (SI) és az erdőterületek kiterjedése (CA_F) is egyaránt növekedett. A kanyargóssági értékek alapján következtethetünk a meder horizontális kiterjedésének mértékére, sőt az erdőterületek arányának változásával fennálló pozitív kapcsolat azt mutatja, hogy a szántóföldek fogyásának ellenére megindult egy természetes beerdősülés. Megfelelő erdőgazdálkodási kezelés hiányában a kis kiterjedésű gyepfoltok beerdősülése növelheti az erdőterületek arányát (Szabó et al. 2015). Jelen esetben azonban a meder kanyargósságában bekövetkező növekedés kedvezően járult hozzá a gyepterületek erdőterületekké

történő átalakulásának valamint területük növekedésének részben spontán folyamatához. Az újonnan kifejlődött övzátanyokon megtelepedett a vegetáció (eleinte főleg lágyszárú növények), majd ezek a kolóniák a szukcessziós folyamat során fokozatosan fejlődtek erdőfoltokká. A tájdiverzitás (SHDI) változása nem követett lineáris trendet ugyanis az erdők aránya egy ponton elért egy olyan küszöbértéket, ahonnan már a további növekedés nem volt képes tovább fokozni a tájfoltok mozaikja alapján meghatározható diverzitási mutatót (56. ábra). Ez magyarázza a meder kanyargóssága és a tájmetriai mutatók között fennálló kétféle kapcsolatot. A felszínborítási kategóriák közötti konverziós mátrix elemzése során magasabb értékeket kaptam a vegetáció szukcessziós fázisaihoz köthető típusoknál, míg alacsonyabb értékek jelentkeztek a mederváltozáshoz tartozó változatoknál. Mindemellett az 1975 és 1980 közötti időszakban számottevő volt a gyepterületek átalakulása szántóföldi művelésbe, viszont ez egyértelműen magyarázható a földgazdálkodáshoz kapcsolódó emberi beavatkozással.

A többváltozós elemzés eredményei alapján megállapítottam, hogy az erózió/akkumuláció és a foltsűrűség (PD) tekintetében az 1956-1988 közötti időszak meglehetősen hasonló jellegű értékeket mutat, továbbá egy másik csoport is elkülönül 2000 és 2017 között a további változók alapján. A főkomponens-analízis eredményeit figyelembe véve a kanyargósság (SI), a diverzitás (SHDI) és az erdőterületek arányának (CA_F) értékei egy ritkább eloszlást követ: ahogyan az erózió és akkumuláció mértéke növekedett vagy csökkent, vagy egymáshoz képest magasabb vagy alacsonyabb volt, az erdőterületek aránya (CA_F) és a diverzitás (SHDI) is eltérő módon változott. Ez a folyamat vált az ökológiai folyamatok meghatározójává az 1988-2000 között, amikor a mederfejlődés elérte az SI=1,4 kanyargósságot, majd 2015-ben az 1,6-ot, viszont közben a meder oldalirányú elmozdulásának üteme lelassult. A meander-fejlődés kezdetén a húr hossz stabil marad, míg az amplitúdó és az ívhossz növekedésével megindul a bővülés (Hickin 1974). A Sajó vizsgált szakasza mentén hasonló változásokat azonosítottam, ugyanis a húr hosszak értékei csak csekély mértékben változtak 1975-ig, azt követően viszont növekedés (2. kanyarulat) és csökkenés (1. és 3. kanyarulat) egyaránt jelentkezett. Hickin (1978) szerint a szélességgel normalizált görbületi sugár (R/w) esetén mutatkozó csökkenés fokozza a medervándorlást, ezt pedig szintén sikerült azonosítani a Sajó mentén vizsgált kanyarulatok esetén (52/b. és 53/c. ábrák). Az erdőterületek aránya 1 százalékról 25-re emelkedett, s ami még fontosabb, hogy ezek a területek konstansnak bizonyultak (abban az esetben, ha egy felszínborítási folt a következő időpontban erdőterületté alakult át, akkor az esetek többségében a további időszakokban is erdőterületként maradt fent), míg a gyepterületek, a szántóföldi parcellák és különösképpen az övzátanyok foltjainak térbeli helyzete változott.

Az újonnan felhalmozott övzátanyok felszínén folyamatosan kialakuló partmenti majd ártéri erdők szukcessziós folyamata lokálisan számottevő mértékben növeli a biodiverzitást (Hunter Jr. 1999), viszont ennél sokkal jelentősebb, hogy megkönnyíti az élővilág mozgását egy egyébként művelés alatt álló, homogén tájszerkezetben. Ez pedig tulajdonképpen igazolja a vizsgálati terület funkcionális besorolását a Nemzeti Ökológiai Hálózatban, mint „ökológiai folyosó”, ami ökológiai szempontból jelentős magterületek összekapcsolásáért felelős a Sajó mentén. A mintaterület

madárvilága a terepi megfigyelés alapján hasonló közösségek vannak jelen, mint amelyeket a Sajó más szakaszain azonosítottak közel két évtizeddel ezelőtt (Vizslán és Szentgyörgyi 1992), ez pedig arra enged következtetni, hogy a frissen létrejött élőhelyeket viszonylag rövid idő alatt a környező területekről származó védett fajok kolonizálták.

A kanyarulatfejlődés során érintett pusztuló partfalak nagyon értékes fészkelőhelyeket biztosítanak olyan védett és regionálisan fogyatkozó madárfajoknak, mint a partifecske és a gyurgyalag (Szép et al. 2012), ez pedig tovább fokozza a dinamikusan fejlődő folyó által alkotott élőhelyek ökológiai jelentőségét. Valójában, már születnek tanulmányok arra vonatkozóan, hogy az említett fajok fészkelőhelyeinek elérhetőségét az tudja igazán hatékonyan javítani, s ezáltal a területen a partifecskek betelepülését stabilan tartani, ha az intenzíven szabályozott folyók mentén felszámolják a parterziós védműveket (Givertz 2010). Ez különösen fontos lehet a mezőgazdasági művelés alá vont tájtypusokon élő partifecske életképes populációinak fenntartása szempontjából, ugyanis ez a madárfaj az egymást követő években kerüli az azonos fészkekbe történő beköltözést (Szép 2000). Az ilyen fészkek számos parazita által terjesztett fertőzésveszélynek vannak kitéve, ezért a partifecske olyan partfalakat vagy homokbányákat választ lakhelyül, ahol a fészkelési időszak kezdetére periodikusan megújuló felszíneket talál (Szép és Møller 1999). A vizsgált mintaterületen található, laterális erózió által intenzíven sújtott partszakasz pontosan ezt a feltételt teremti meg, a fészkelési hely, mint kritikus erőforrás folyamatos megújulása biztosítva van, miközben ez általában inkább korlátozni szokta a partifecskek és gyurgyalagok térbeli elterjedését (Szép 2000; Gyurácz et al. 2013).

A legstabilabb szukcessziós tájelemek (erdők) kiterjedésében bekövetkezett növekedés valamint a szukcessziós folyamat közbülső elemeinek (gyepterületek) csökkenése azt sugallja, hogy vizsgált területen a rendelkezésre álló időszak során a tájszerkezet váltakozása ökológiai stabilitást eredményezett. Ez a jelenség kiemelt fontosságú az intenzíven oldalazó folyómedrek esetében, ezért elengedhetetlen a medermorfológiában bekövetkező változások és a tájváltozás közötti összefüggések azonosítása (Corenblit et al. 2007; Michalková et al. 2010). A szántóföldi parcellák területváltozása nem tekinthető a mederfejlődésre jellemzésére alkalmas indikátornak, ugyanis ezeket a földhasználat és az emberi beavatkozások irányítják közvetlenül. A szukcessziós tájelemek fő szabályozó tényezőjeként sokkal inkább a meanderezés változó dinamikáját azonosítottam. Jóllehet, a Sajó vizsgált szakasza nem volt érintett átfogó emberi beavatkozással, azonban a felső és alsó szakaszokon változó eloszlással számos mederrendezés megvalósult, ez viszont hatással van a változó meander-dinamikára. Elemzéseink alapján megállapítottam, hogy a partpusztulás és a mederelmozdulás hatására bekövetkező mezőgazdasági termelőképesség csökkenését ellensúlyozni képes a horizontális akkrécióval bővülő övzatonyfelszínek szukcessziója által előidézett növekedés az élőhelydiverzításban. Ráadásul, ha tudjuk, hogy a szántóföldi művelés megoszlása az utóbbi két évtizedben növekedést mutatott az ártéren, ami kiemelt része a Nemzeti Ökológiai Hálózatnak, akkor ebben az esetben a meanderezés pozitív hatásai meghaladják a laterális erózió és a tájdegradáció negatív következményeit.

Jelen vizsgálat a jövőre nézve olyan további fontos témák vizsgálatát is indokolta teszi, mint a kapcsoltág (connectivity) kérdésköre (Keesstra et al. 2018). Eredményeink alapján egyértelmű, hogy a Sajó vizsgált szakaszát és a környező tájakat számos eltérő folyamat (pl.: tápanyagszállítás, hordalék-utánpótlás) köti össze, melyeket egyaránt jelentősen befolyásolja a vegetáció kolonizációja a területen (López-Vicente et al. 2015; Lehotský et al. 2017; Kavian et al. 2018). A rendelkezésre álló modellezési eljárások és kapcsoltági indexek lehetővé teszik annak kimutatását, hogy a meanderezést hogyan és milyen mértékben érintik más dinamikus elemek, úgy, mint a szántóföldi művelés (Cossart és Fressard 2017), vagy a lakott területek térbeli elhelyezkedése (Hou et al. 2017). A kapcsoltági folyamatok értelmezése ezáltal kétségkívül elősegítheti a Sajó menti döntéshozók fenntartható tájtervezési és erózió-csökkentési vagy éppen árvízvédelmi beavatkozásainak megtervezését, melynek fontosságára már más kutatások is felhívták a figyelmet (Yu et al. 2013; Basatnia et al. 2018). Az érintett szakaszokon saját tulajdonú parcellákkal rendelkező egyéni gazdálkodók számára pedig hatékonyabb termelési mód kialakítása valósulhatna meg.

A folyó medermorfológiájában és a közvetlen környezetének felszínborításában bekövetkező változások hatással lehetnek a biodiverzításra is, ezért kiegészítő jellegű felméréseket végeztünk a helyi madárvilágra, mint lehetséges bioindikátorra vonatkozóan.

A vizsgált terület madártani felmérését a 2018. évi fészkelési időszak során végeztük előzetesen kijelölt keresztaszvályok mentén valamint pontszámláló módszer alkalmazásával. A felméréshez két, egyenként 200 méter hosszú keresztaszvályt jelöltünk ki, melyek keresztelték a frissen akkumulált zátonyfelszíneket, továbbá kiválasztottunk egy megfigyelési pontot a Sajó egyik erodáló, külső kanyarulatívén. Ezeken a helyeken történt a madárfajok azonosítása. A két keresztaszvály egymástól 500 méterre helyezkedett el, míg a megfigyelési pont 225, ill. 580 méter távolságban volt a keresztaszvályektól. A felmérés 2018. június 26-án végeztük 10:00 és 12:40 között. Mindkét keresztaszvály-felmérés 30 percig tartott, míg a pontszámláló eljárás 20 perces volt. Eközben a felmérést végző személy azonosította a látott, ill. hallott madárfajokat a folyómeder mentén és a közvetlen ártéren, melyeket a madárfajok vélhetően élőhelyként használnak, s nem csak áthaladnak a felett nagy magasságban.

Számszerűsítettem továbbá az erodált partfalakban fészkelő partifecske (*Riparia riparia*) kolóniákat. Vizuális számlálás helyett az elemzéshez földi közel-fotogrammetriai (close-range terrestrial photogrammetry) felmérést végeztem. Az eljárás eredményeképpen egy fotómozaikot hoztam létre a Sajó erodáló kanyarulatának külső ívének felszínéről. Az eljárás során egy Nikon D5300 digitális tükörreflexes fényképezőgépet valamint egy 70-300 mm fókusz távolságú teleobjektívet használtam. A kanyarulat belső ívének zátonyfelszínén mozogva, állványra rögzített fényképezőgéppel, 80%-os oldalirányú átfedéssel készítettem 218 db fényképet. A fotósorozatot Agisoft Photoscan 1.2.6. szoftverben dolgoztam fel és készítettem el az oldalirányban döntött „ortofotó”-mozaikot. A fotómozaik méreteinek skálázása érdekében a folyómeder felső szegélyén 5 méterenként elhelyeztem a Photoscan saját kódolt jeltárcsáit A4 méretben kinyomtatva, majd

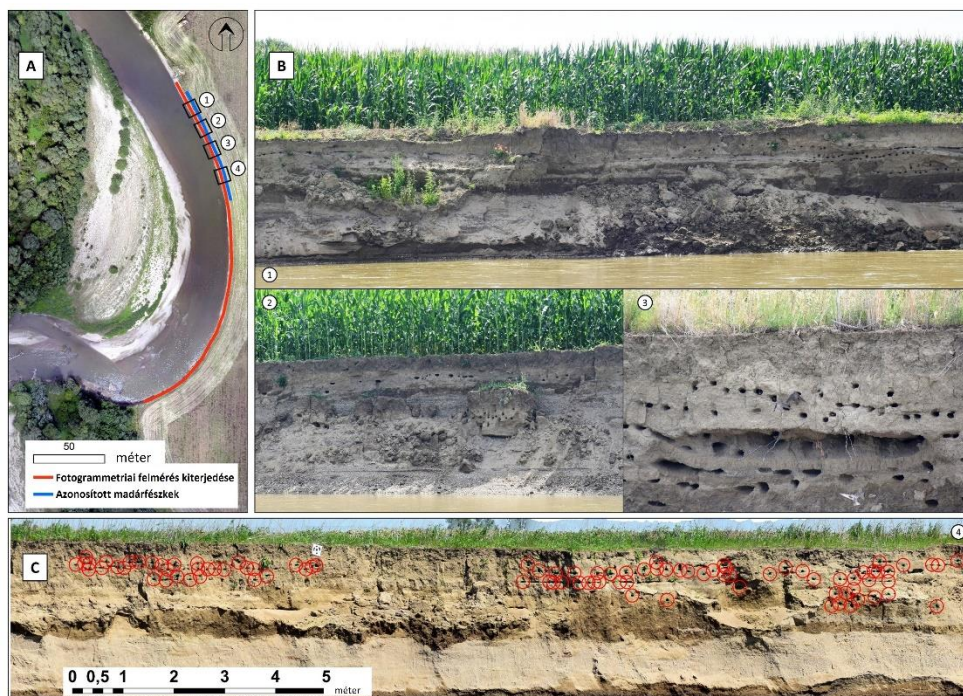
ezek középpontjait nagy pontosságú geodéziai GPS (Stonex S9 RTK) segítségével mértem be. A jeltárcsák azonosítása a Photoscan szoftverben automatikusan megtörtént.

A faunisztikai felmérés részletes eredményei a 18. táblázatban kerültek bemutatásra. A vizsgált területen 26 fajt azonosítottunk, melyek részben ott fészkeltek vagy ideiglenesen használták azt a fészkelési időszakban. Az észlelt fajok közül 23 tartozik a törvényi védetség alá, köztük a fokozottan védett gyurgyalag (Gyurác et al. 2013).

A vizsgált mintaterület 2. kanyarulatának pusztuló partfalában nagy mennyiségű fészkelőhelyet észleltünk. A terepi felméréseink során azonosítottuk, hogy egyaránt gyurgyalagok (*Merops apiaster*) és a drasztikusan csökkenő hazai állománnyal rendelkező partifecskek (*Riparia riparia*) fészkei találhatóak a partfal mentén. A madártani felmérés időpontjában körülbelül 80-100 partifecskepárt észleltünk, amint épp utódaikat etették, azonban a fotogrammetriai módszerrel előállított mozaik elemzése alapján (67. ábra) a két kolónia által 446 db különálló fészket számláltam.

18. táblázat: A madártani felmérés során vizuális és hang alapján azonosított fajok listája rendszertani sorrendben

Általános név	Tudományos név	Általános név	Tudományos név
1. Szürke gém	<i>Ardea cinerea</i>	14. Partifecske	<i>Riparia riparia</i>
2. Egerészölyv	<i>Buteo buteo</i>	15. Feketerigó	<i>Turdus merula</i>
3. Vörös vércse	<i>Falco tinnunculus</i>	16. Berki tücsökmadár	<i>Locustella fluviatilis</i>
4. Kabasólyom	<i>Falco subbuteo</i>	17. Barátposzáta	<i>Sylvia atricapilla</i>
5. Fácán	<i>Phasianus colchicus</i>	18. Csilcsapfűzike	<i>Phylloscopus collybita</i>
6. Billegetőcankó	<i>Tringa hypoleucos</i>	19. Széncinege	<i>Parus major</i>
7. Örvös galamb	<i>Columba palumbus</i>	20. Seregély	<i>Sturnus vulgaris</i>
8. Vadgerle	<i>Streptopelia turtur</i>	21. Sárgarigó	<i>Oriolus oriolus</i>
9. Kakukk	<i>Cuculus canorus</i>	22. Szajkó	<i>Garrulus glandarius</i>
10. Jégmadár	<i>Alcedo atthis</i>	23. Dolmányos varjú	<i>Corvus cornix</i>
11. Gyurgyalag	<i>Merops apiaster</i>	24. Erdei pinty	<i>Fringilla coelebs</i>
12. Zöld küllő	<i>Picus viridis</i>	25. Zöldike	<i>Carduelis chloris</i>
13. Nagy fakopáncs	<i>Dendrocopus major</i>	26. Tengelic	<i>Carduelis carduelis</i>



67. ábra: Madár-fészkek a partfalban a vizsgált terület 2. kanyarulata mentén. A – A fészkek elhelyezkedésének áttekintése; B – Néhány példa a fészkek helyzetéről a leomló partfal-tömbök mentén; C – A vörös körök jelzik a mozaikon azonosított fészkeket

7. Összefoglalás

2010 nyarán a heves ezősések hatására Borsod-Abaúj-Zemplén megye folyóin, többek között a Sajó hazai szakaszán rekordárvizek vonultak le, jelentős polgári és gazdasági károkat okozva (Szaló et al. 2011).

A hatékonyabb mederrendezés és ártéri gazdálkodási stratégia megalkotása érdekében célul tűztem ki, hogy feltárjam, és részletes áttekintést dolgozzak ki a Sajó hazai szakaszának utóbbi évtizedekben végbement mederdinamikai változásairól valamint kijelöljem a recens kanyarulatfejlődés által leginkább veszélyeztetett rész-szakaszokat. Fontosnak tartom, hogy geomorfológiai, hidrológiai és ökológiai szempontok figyelembevételével bemutassam a Sajó hazai szakaszán zajló mederváltozási folyamatok negatív és lehetséges pozitív hatásait is.

Kutatásaim alapján feltártam, hogy az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság által 2010-ben kidolgozott Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT) valamint a Vízyűjtő-gazdálkodási Terv 2015-ben készült felülvizsgálata (VGT2) ugyan rendelkezik egy átfogó jellemzéssel, azonban a Sajó hazai szakaszára vonatkozó geográfiai szakirodalom meglehetősen elavultnak számít, míg geomorfológiai szempontok szerint készített áttekintő leírás az 1972-ben kiadott Vízrajzi Atlasz kiadása egyáltalán nem készült a folyóról.

A disszertációban kidolgozott kutatási eredményeimet az alábbiakban összegzem:

A Sajó hazai szakaszának aktualizált tagolása a geomorfológiai, természeti és antropogén eredetű tényezők figyelembevételével

A horizontális mederdinamikai elemzésünk megvalósítása előtt célul tűztem ki a Sajó hazai mederszakasza mentén történt mesterséges beavatkozások valamint a szabályozás mértékének kimutatását. Ez alapján nyílt lehetőségünk elkülöníteni a kvázi természetesen fejlődő rész-szakaszok és az emberi hatás alatt álló rész-szakaszok közötti hasonlóságok és eltérések azonosítását.

A rész-szakaszok lehatárolásához figyelembe vettem a természetes és antropogén eredetű befolyásoló tényezőket: a folyómedrek völgyi korlátozottságát; a partfal összetételét; a meder esésviszonyait; a betorkolló mellékfolyókat; a töltések és gátak közelségét; a korábbi kanyarulat-átmetzések számát és hosszát valamint a partbiztosítással védett kanyarulatok arányát.

Az elemzést kiegészítettem egy átfogó terepi szemlével is, ahol a Sajó hazai szakaszát gépkocsival valamint gyalog jártam végig s vizuális interpretációval megállapítottam a partfalak jellemző összetételi típusait: kohézív, nem kohézív, összetett).

Az eredmények rendszerezését követően kidolgoztam a Sajó hazai szakaszának 12 db önálló rész-szakaszra (R1-R12) történő felosztását. A térbeli szakaszhatárokat más tanulmányoktól eltérően nem folyamkilométer-alapú módszerrel adtam meg, hanem kizárólag a kanyarulatok végpontjainál állapítottam meg. A döntés során egyaránt figyelembe vettem a geomorfológiai sajátosságokat és az antropogén hatás mértékét is. A tagolást abból a szempontból is szükségesnek éreztem, hogy a 2010,

ill. 2015-ben készült VGT, ill. VGT2 leírásai is a közel sem időszerű, 1972-ben tárgyalt, öt szakaszra bontott Sajó-meder alapján lettek kidolgozva.

A rész-szakaszok rendszerének kidolgozása során kimutattam, hogy a Sajó hazai, közel 124 km hosszú szakaszából 51,3 km tekinthető közel természetes jellegűnek, ami a teljes szakasz 41,7%-a.

A természeti és antropogén jellegű hatások mértéke alapján osztályozott rész-szakaszokat végül négy további kategóriába soroltam: Természetes (R3); Enyhén módosított (R5, R7, R9, R10, R12); Módosított (R4; R11); Intenzíven módosított (R1, R2, R6, R8).

A disszertációban részletesen ismertettem a rész-szakaszok sajátosságait, bemutattam a legfőbb partfal-szerkezeti típusokat.

A Sajó hosszútávú mederdinamikai elemzése

A Sajó hosszútávú horizontális mederdinamikai változásának vizsgálatát az 1952-2011 közötti időszakra vonatkoztatva végeztem el.

Az elemzéshez a Hadtörténeti Múzeum és Térképtár, Hadtörténeti Térképtárból kölcsönzött archív fekete-fehér katonai légifotókat (1952, 1956, 1975, 1988), topográfiai térképszelvényeket (1980) valamint digitális ortofotókat (2000, 2005, 2011) használtam fel.

A horizontális mederdinamikai elemzés térbeli-időbeli változásait medermorfometriai paraméterek alapján vizsgáltam. Ennek első lépéseként a légifotók ortorektifikációját követően geoinformatikai adatbázist építettünk, majd manuális vektorizálással digitalizáltam a középvízi mederéleket, majd megszerkesztettem a medrek középvonalait. A kanyarulatok végpontjait jelentő inflexiós pontokat az kanyarulatok között berajzolható egyenes szakaszok felezőpontjaként azonosítottam.

A meder digitális fedvényei alapján megszerkesztettem és kiszámítottam az alábbi medermorfometriai paramétereket: mederszélesség (100 méterenként); ívhossz (középvonal hossza két inflexiós pont között); húrhossz (inflexiós pontok távolsága kanyarulatonként); amplitúdó (húrra illeszkedő leghosszabb egyenes szakasz hossza); görbületi sugár (a kanyarulatba illeszkedő legnagyobb kör sugara); kanyargóssági index (kanyarulati és szakasz-szinten).

Meghatároztam továbbá az egymást követő éveket reprezentáló középvonalak és meder-poligonok alapján az átlagos mederelmozdulások mértékét, valamint a parterózió és akkréció által érintett területek kiterjedését.

A horizontális medermorfometriai paraméterek és emberi beavatkozás térbeli változékonyságának eredményei

A 2011-es meder állapota alapján kimutattam a horizontális medermorfometriai paraméterek és emberi beavatkozás térbeli változékonyságát a Sajó hossz-szelvénye mentén.

A meder esésének két szélső értékének 0,39 valamint 0,76 m/km bizonyult. A legmeredekebb rész-szakaszok közé az R2, R3, R7, R8 szakaszok tartoznak. Az átlagos húrhossz, átlagos amplitúdó valamint az átlagos mederszélesség tekintetében

az R8 rész-szakasz kezdete töréspontként jelentkezett. Innentől kezdve folyásiránynak megfelelően mindhárom mutató értékei növekedtek.

A legtöbb egymást követő természetes kanyarulatot 2011-ben (összesen 36 db) az R5 rész-szakasz mentén azonosítottam, habár ezen belül leginkább kisméretű kanyarulatok találhatók, ugyanis az átlagos húrhosszértékek itt bizonyultak a legkisebbnek (178,18 m).

Az általam „természetes”, ill. „enyhén módosított” típusba sorolt rész-szakaszokon mértem a legmagasabb kanyargóssági indexeket, mindegyik esetén az $SI=1,5$ határértéket meghaladva meanderező típusúnak bizonyultak. A leginkább meanderező rész-szakaszokként az R7 ($SI=1,83$), R9 ($SI=1,73$) valamint az R12 (1,99) rész-szakaszokat azonosítottam. Mindemellett egyes „módosított” (R4, $SI=1,45$; R8, $SI=1,60$) és „intenzíven módosított” (R8, $SI=1,44$) rész-szakasz is közelít a meanderező mederformához.

A medermorfometriai paraméterek, parterózió és a laterális elmozdulás valamint a mederformáló vízhozamok aránya közötti kapcsolatokat Spearman-féle rangkorrelációval vizsgáltam. Eredményeink alapján a mederesés negatívan korrelál a húrhosszal ($r = -0,55$), az amplitúdóval ($r = -0,44$) és a mederszélességgel ($r = -0,4$). Az ívhossz, húrhossz és amplitúdó között azonban egyaránt erősen korrelációt mértünk ($r = \sim 0,7$), melyek közül is a legszorosabb kapcsolat a húrhossz és amplitúdó között jelentkezett ($r = 0,92$). Összességében megállapítottam, hogy a Sajó hazai szakaszán nagyobb mederesés esetén rövidebb és kevésbé tágas kanyarulatok tartoznak.

A horizontális medermorfometriai paraméterek időbeli változékonyságának eredményei

Az átlagos ívhossz időbeli változásai alapján az első vizsgált időszakban mindössze három rész-szakasz (R4, R6, R10) kivételével növekedett a kanyarulatok kiterjedése, leginkább az R3 „természetes” rész-szakasz esetén (+12,7%). Az 1975-1980, ill. az 1980-1988 közötti időszakokban leginkább a kanyarulatok rövidülése következett be, melynek mértéke -12,9 és -29,1% között szórt. Az utolsó két időszakban lecsökkent a rövidülés mértéke.

Az átlagos húrhossz és amplitúdó értékek változása során egyaránt csökkenő trendet azonosítottam, ezen belül is leginkább az R9, R10 esetén (miközben az R2 és R6 mentén növekedés ment végbe). Ez alapján megállapítottam, hogy általánosságban a kanyarulatok rajzolata szűkebbé és térben koncentráltabbá vált. Ennek ellenére számos rész-szakasz mentén mutattam ki translációs és elfordulva bővülő kanyarulatfejlődési mintázatot.

A Sajó hazai szakaszának kanyargóssági indexe tekintetében 1980-ig csökkenő tendenciát mutattam ki, ezt követően azonosítottam egy fokozatos növekedést, melynek végén 2011-ben már a teljes hazai szakasz meanderező besorolásba került ($SI=1,53$).

A kanyargóssági indexet kanyarulatfejlettségi hányadosként minden egyes időszak, minden egyes kanyarulatára kiszámítottam, majd négy fejlettségi kategóriába soroltam. A vizsgált időszakok mentén a legnagyobb kanyarulat-számmal az 1,05 – 1,25 közötti hányadossal rendelkező kategória rendelkezett (~90-

120 db időszakonként), miközben a meander-típusú kanyarulatokból átlagosan 40-60 db-ot azonosítottam időszakonként. Eredményeink alapján a meander-típusú kanyarulatok teljes hossza 1975-től kezdve 39,19 km-ről 27,09 km-re csökkent 2011-re. A leghosszabb meanderező szakaszokat (~4-5 km) az R5, R7, R8, R12 részszakaszok mentén mutattam ki. A fentiek alapján arra következtetünk, hogy a kanyarulatok növekedése nem a már meglévő meanderek tovább fejlődéseként megy végbe. Kimutattam továbbá, hogy a kevésbé fejlett kanyarulatokhoz csekély mértékű mederfejlődési dinamika társul, ezzel pedig igazoltam Hickin és Nanson (1975) elméletét, mely szerint a nagyobb mértékű mederváltozás a nagyobb görbültséggel rendelkező kanyarulatok mentén indul meg.

A kanyargóssági indexek alapján kimutattam, hogy a mederrendezések az „antropogén” besorolású rész-szakaszokon sikeresen csökkentették a kanyarulatfejlettségeket. Azt is megállapítottam továbbá, hogy kevésbé vagy egyáltalán nem bolygatott „természetes” valamint az „enyhén módosított” rész-szakaszok mentén fokozatos kanyarulatfejlődés zajlik.

A szélességgel normalizált görbületi sugarak értékeinek időbeli változását a „természetes” és „enyhén módosított” rész-szakaszok mentén vizsgáltam. Mindössze két kivétel mellett (R5, R9) a görbületi sugarak növekedtek a vizsgált időszakban, leginkább az R10 mentén. Az a folyamat igazolja azokat az elméleteket (Brice 1974; Hickin és Nanson 1975; Hooke 2007; Sylvester et al. 2019), melyek szerint a Sajóhoz hasonló jellegű (méret, mederanyag) folyók fejlett kanyarulatai idővel beszűkülnek, majd elnyúlnak. Vizsgálataink alapján a „természetes” besorolású rész-szakaszok kanyarulatai leginkább stabilitást mutatnak az elmúlt időszakban.

A parterózió és a laterális elmozdulás vizsgálata során megkülönböztettem a természetes folyamat eredményeként történt mederváltozást valamint a folyószabályozások során módosított árteret. Kimutattam, hogy az 1952-1956 közötti időszakban kimagasló mértékű (31,81 ha/év) természetes parterózióból adódó ártér-átalakulás ment végbe, sőt a mesterséges kanyarulat-átvágások nyomán elfoglalt új mederszakaszok területét (5,92 ha/év) is ebben az időszakban azonosítottam a legnagyobbinak. Eredményeink alapján az is kiderült, hogy a nagymértékű parteróziós folyamatokat a meder ellentétes oldalán hasonló mértékű akkréciós felhalmozódás is követte.

A teljes mederváltozás tekintetében az első időszak után (91,08 ha/év) a második legintenzívebb időszakként az 1975-1980 közötti időszakot azonosítottam (61,88 ha/év), végül egy csökkenő periódus után 2005-2011 között ismét megnövekedett a parterózió mértéke. A rész-szakaszok mentén az R6-tól folyásirányban lefelé mutattam ki a legintenzívebb parteróziót, a leginkább érintett rész-szakaszokként az R9-et (1,24 ha/év/fkm) és R10-et (1,19 ha/év/fkm) azonosítottam. A kanyarulat-átvágások által módosított rész-szakaszok területe alapján a legtöbb beavatkozást az R2 (0,24 km/ha/fkm), R6 (0,27 ha/év/fkm), ill. R8 (0,19 ha/év/fkm) mentén mutattam ki.

Az általam „természetes” (azon belül természetes és enyhén módosított altípusok) és „antropogén” (módosított és intenzíven módosított altípusok) eredetű szakaszok közötti statisztikai különbséget főkomponens-analízissel vizsgáltam meg.

Megállapítottam, hogy a két fő kategória között nyilvánvaló különbségek vannak. A rész-szakaszok közötti határokat kimutattam a Sajó hossz-szelvénye mentén számított kumulált eróziós görbék töréspontjai mentén is.

Kimutattam, hogy a „természetes” és „enyhén módosított” rész-szakaszok beékelődnek a „módosított” és „intenzíven módosított” típusok közé, ez pedig a Sajó mentén megvalósított szabályozásokat folyásirányban követő fokozódó kanyarulatfejlődést és parteróziót okozott.

A Sajó mederdinamikájának értelmezéséhez elengedhetetlen volt a hidrológiai sajátosságok feltárása. Az ehhez szükséges vízrajzi adatokat részben az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság bocsátott rendelkezésünkre, a hiányzó adatsorokat pedig a Vízrajzi Évkönyvek köteteiből gyűjtöttem ki.

A Sajó hazai szakaszán jelenleg három vízmérce üzemel. A folyók mederváltozására leginkább hatással lévő nagyvizek tekintetében a három vízmérce adatsora nem mutatott szignifikáns eltérést, ezért a hosszútávú mederdinamikai elemzéseinkhez a leghosszabb időszorral rendelkező sajópüspöki vízmérce adatsorát használtam fel.

Szakirodalmi adatok alapján meghatároztam a mederformáló vízhozam (1,1 éves visszatérési idejű) mértékét, mely $139,27 \text{ m}^3/\text{s}$. A hét vizsgált időszakban egyaránt meghatároztam a mederformáló vízhozam, valamint a kétéves, ill. ötéves visszatérési idejű árhullámok tartósságát. A mederformáló vízhozamot meghaladó árhullámok tartóssága tekintetében az eredmények alapján 1952-1975 között egy 0,9%-os csökkenést tapasztaltam, majd 1980-ig ismét emelkedést (1,37%) azonosítottam. Ezt követően 2011-ig ingadozó, de csökkenő trendet mutatott az árhullámok tartóssága, végül 2005-2011 között ismét jelentős emelkedés jelentkezett (1,41%). Az 1,1; ill. 2 éves visszatérési idejű árhullámok tartóssága esetén egyaránt az 1975-1980 közötti időszak bizonyult a legintenzívebbnek (~2%, ill. 1,2%); a második helyre a kezdő, 1952-1956-os (1,51; ill. 0,41%), míg harmadik helyre a legutolsó, 2005-2011-es időszak (1,41; ill. 0,5%) sorolható be.

A Sajó hazai szakaszán azonosított parteróziós intenzitás 1956 és 1980 között nagymértékben illeszkedett a mederformáló vízhozam időbeli változásához. 1980-ra azonban befejeződtek a mederrendezési munkálatok, ez hatással volt a mederformáló vízhozamok dinamikájára is, az árhullámok gyorsabban levonultak. A továbbiakban a Sajó vízhozama nem fejtett ki alapvető hatást a Sajó mederfejlődési dinamikájára, ugyanis a 2005-2011 közötti árvizes időszakot követően is csak csekélyebb mértékű növekményt mutattam ki. A Sajó vízrendszere tehát ilyen tekintetben fokozatosan egyre kevésbé dinamikussá alakult.

A kanyarulatfejlődés mechanizmusára alapvető hatással lehet az adott folyó medrének bevágódása. Az évi legkisebb vízállások idősorait elemezve megállapítottam, hogy mindössze a sajópüspöki vízmérce alapján tapasztalható vízszintcsökkenés, míg a folyásirány szerint lentebb elhelyezkedő sajószentpéteri, ill. felsőszolcai vízmércéken alig számottevő a csökkenés mértéke.

A Sajó rövidtávú mederdinamikai elemzése

A Sajó hosszútávú mederdinamikai elemzése mellett az intenzívebben fejlődő szakaszokon 2014-től kezdődően pilóta nélküli légi járművekkel (UAV) végeztem a parteróziós monitoring vizsgálatainkat. Az általam kijelölt területek folyásirány szerint Kazincbarcika, Sajószentpéter, Ónod valamint Nagycsécs települések külterületén helyezkednek el. A parterózió-monitoring vizsgálataink során a közel öt éves időszakban (2014. április – 2019. március) összesen 19 db terepi mérést valósítottam meg.

A rövidtávú kanyarulatfejlődés- és parterózió monitoring vizsgálataim mellett célul tűztem ki az adott kanyarulatok erodálhatóságát befolyásoló tényezők elemzését. Ennek érdekében az UAV-parterózió mintaterületein 10 db kanyarulata mentén összesen 17 db ponton végeztünk talajmintavételt. A talajminták szemcseösszetételének meghatározását lézerdiffrakciós szemcseanalízissel végeztem.

A kazincbarcikai mintaterület mentén a vizsgált 3,5 éves időszak alatt a kanyarulatok ívének laterális elmozdulása 1 és 5 méter közötti intervallumot érte el. A kanyarulatok mentén a parterózió csúcspontja a kanyarulat csúcspontja környezetében jelentkezett. A legintenzívebb időszakként a 2015.05-2016.04. közötti periódust azonosítottam ($15 \text{ m}^2/\text{fél év}$).

A sajószentpéteri mintaterület mentén a kazincbarcikai laterális partelmozdulási értékek közel kétszeresét, míg a kumulált parterózió tekintetében a nyolckilencszeresét mutattam ki. Ezen kívül 2016 áprilisában egy recens ártéri fok kialakulását mutattam ki. A 2016. februári intenzív áradás hatására 872 m^2 kiterjedésű partfelület és 380 m^3 partanyag pusztult le, ugyanis a vizsgált kanyarulat mentén nem azonosítható markáns folyóhát. A folyamatot azonban kizárólag egy egyszeri eróziós eseményként azonosítottam, ugyanis a vizsgálat további fázisaiban megindult az erodált terület feltöltődése.

Az ónodi mintaterületen a laterális elmozdulás tekintetében viszonylag egyenletes mértékű, 6-9 méteres teljes parthátrálást mutattam ki. A kumulált parterózió értékei elérték a $100 \text{ m}^2/\text{fél év}$ intenzitást.

A nagycsécsi mintaterületen a kanyarulat külső ívének laterális elmozdulása és a kumulált parterózió tekintetében is az összes mintaterület közül itt mutattam ki a legnagyobb értékeket. A nagycsécsi B kanyarulat mentén a legnagyobb elmozdulást $41,8$ méteresnek azonosítottam.

A vizsgált kanyarulatok partfalaiból gyűjtött fűrásminták szedimentológiai elemzésénél arra kerestem a választ, hogy az általam kimutatott partelmozdulások és a partfalak alsó egy méterében található homoktartalom között milyen összefüggések vannak.

A lineáris regresszió eredményei alapján megállapítottam, hogy a partfalak aljában lévő homoktartalom növekedése esetén intenzív parterózió várható. A nagycsécsi B kanyarulat kiugró értéként jelent meg a regressziós eloszláson. Az említett kanyarulat partfalának alsó régiójában a homoktartalom mindössze közepes ($\sim 40\%$) szintű, miközben kimagasló, 35 méteres elmozdulást mértünk a partvonalban. Habár ez a homoktartalom nem számít magasnak, azonban emellett a

kavicsos frakció részaránya itt megnövekedett. Az ilyen jellegű partfaltípusoknál a vízhozam-csökkenés nagyobb mennyiségű üledéket képes elmozdítani a partfalak alján.

A kanyarulatfejlődés ökológiai vonatkozásainak vizsgálata a Sajó mentén

A folyóvízi kanyarulatfejlődésnek általában főként a káros következményeit említi a szakirodalom és a közvélemény. Ezzel szemben célul tűztem ki a Sajó nagycsécsi kanyarulatrendszer mentén megvizsgálni, hogy a folyamatnak milyen lehetséges pozitív hatásai léteznek az ökológiai diverzitás szempontjából.

A vizsgálat az 1952 és 2017 közötti időszakot, azon belül 10 konkrét időpontot ölel fel. Az intenzíven fejlődő Sajó meder közvetlen környezetében lezajlott folyamatok és ökológiai jellemzők feltárása érdekében osztály- és táj-szintű tájmetriai indexeket (foltsűrűség, keveredési és egymásmellettségi index, Shannon-féle diverzitási index, class area) határoztam meg. Alapadatokként archív légifelvételeket valamint UAV-felmérések állományait használtam fel. A madárvilág összetételének és diverzitásának meghatározása érdekében egy részletes ornitológiai felmérést is megvalósítottam. A tájfoltok átalakulása, a vegetáció szukcessziója, a mederfejlődés valamint a mezőgazdasági művelés összefüggéseit a vektorizált felszínborítási foltok adataiból számított konfúziós mátrix alapján határoztam meg.

Eredményeink alapján megállapítottam, hogy a vizsgált 65 éves időszak alatt nagymértékű felszínborítási változások mentek végbe a Sajó e szakaszán. A változásnak két fő típusát azonosítottam: 1) beépített területek, a folyómeder és a zátonyfelszínek, ahol a változások csekély mértékűek (az általuk elfoglalt területek nagysága többé-kevésbé konstans, miközben az ide tartozó foltok térbeli helyzete változott); (2) szántóföldi parcellák, gyepterületek és erdők, melyek változásai a vizsgálat szempontjából már relevánsak voltak (ezek a folt típusok a vizsgált időszak során részben, vagy teljes egészében átalakultak egy másik típusba). A gyepterületek területe jelentősen lecsökkent, ugyanis ezek a területek a szukcessziós folyamat során fokozatosan alakultak át erdőterületekké, vagy a fokozódó emberi tevékenység során mezőgazdasági művelés alá vonták. Az erdőterületek aránya 1 százalékról 25-re emelkedett, sőt a konfúziós mátrix alapján ezek a területek konstansnak bizonyultak (abban az esetben, ha egy felszínborítási folt a következő időpontban erdőterületté alakult át, akkor az esetek többségében a további időszakokban is erdőterületként maradt fent), míg a gyepterületek, a szántóföldi parcellák és különösképpen az övzátonyok foltjainak térbeli helyzete változott.

A medermorfometriai és tájmetriai mérőszámok változását tekintve a kanyargóssági index (SI) és az erdőterületek kiterjedése (CA_F) is egyaránt növekedett. A kanyargóssági értékek alapján következtethetünk a meder horizontális kiterjedésének mértékére, sőt az erdőterületek arányának változásával fennálló pozitív kapcsolat azt mutatja, hogy a szántóföldek fogyásának ellenére megindult egy természetes beerdősülés. Az újonnan kifejlődött övzátonyokon megtelepedett a vegetáció (eleinte főleg lágyszárú növények), majd ezek a kolóniák a szukcessziós folyamat során fokozatosan fejlődtek erdőfoltokká.

A legstabilabb szukcessziós tájlemek (erdők) kiterjedésében bekövetkezett növekedés valamint a szukcessziós folyamat közbülső elemeinek (gyepterületek) csökkenése azt sugallja, hogy vizsgált területen a rendelkezésre álló időszak során a tájszerkezet váltakozása magasabb diverzitást és stabilitást eredményezett.

Az újonnan felhalmozott övzátonyok felszínén folyamatosan kialakuló partmenti majd ártéri erdők szukcessziós folyamata lokálisan számottevő mértékben növeli a biodiverzitást, sőt megkönnyíti a különböző organizmusok mozgását egy egyébként művelés alatt álló, homogén tájszerkezetben. Ez pedig lehetővé teszi a metapopulációk közötti génáramlás fenntartását, ami tulajdonképpen igazolja a vizsgálati terület funkcionális besorolását a Nemzeti Ökológiai Hálózatban, mint „ökológiai folyosó”, ami ökológiai szempontból jelentős magterületek összekapcsolásáért felelős a Sajó mentén.

A kanyarulatfejlődés során érintett pusztuló partfalak nagyon értékes fészkelőhelyeket biztosítanak olyan védett és regionálisan fogyatkozó madárfajoknak, mint a partifecske és a gyurgyalag. A vizsgált mintaterületen található, laterális erózió által intenzíven sújtott partszakaszon a fészkelési hely, mint kritikus erőforrás folyamatos megújulása biztosítva van, miközben ez általában inkább korlátozni szokta a partifecskék és gyurgyalagok térbeli elterjedését.

Elemzéseink alapján megállapítottam, hogy a partpusztulás és a mederelmozdulás hatására bekövetkező mezőgazdasági termelőképesség csökkenését ellensúlyozni képes a horizontális akkrécióval bővülő övzátonyfelszín szukcessziója által előidézett növekedés az élőhelydiverzitásban. Ráadásul, ha feltételezzük, hogy a szántóföldi művelés megoszlása az utóbbi két évtizedben növekedést mutatott az ártéren, ami kiemelt része a Nemzeti Ökológiai Hálózatnak, akkor ebben az esetben a meanderezés pozitív hatásai meghaladják a laterális erózió és a tájdegradáció negatív következményeit.

8. Summary

The summer of 2010 in Borsod-Abaúj-Zemplén county had been mainly characterized by heavy rainfalls then, consequently, serious floods caused extensive damage at the populated areas along the Hungarian reach of Sajó River (Szaló et al. 2011).

The aim of my research was to perform a detailed assessment of the channel morphodynamics regarding the last six decades along the Hungarian reach of Sajó River and delineate sub-reaches which are affected by intensive bank erosion. In my opinion, the quantification of the erosion/accumulation rates could provide a detailed dataset for river engineers, managers and the local farmers to predict which part of floodplain would be degraded by the river dynamics in the near future. Another goal of my research was to highlight the possible negative and even positive effects of the river channel evolution of the Hungarian reach of Sajó River according to the hydrological and ecological point of view as well.

My research revealed that however, both the “River basin management plan of Sajó River” established by the North-Hungarian Water Directorate in 2010 and its revision in 2015 provided a brief overview of Sajó River, but all the geographical literature on the Hungarian reach is outdated. Moreover, the last study (Hydrological Atlas) that described the river from the geomorphological point of view, had been published in 1972. The results of my research are summarized in the following way.

Sub-reach delineation of Sajó River according to the natural and anthropogenic factors

As a first step, I aimed to reveal the rate of anthropogenic interventions and river engineering works along the Hungarian reach of Sajó River. It became possible then to distinguish the characteristics of the quasi-natural and modified reaches.

For the sub-reach delineation, several natural and anthropogenic factors had been involved: valley confinement, inflow tributaries, stream gradient (channel slope), distance of levées/embankments, number of artificial cutoffs, rate of channelization and bank protection.

The analysis was extended by a broad field survey in order to evaluate the bank material (cohesive, non-cohesive, complex) and bank composition.

After summarizing the different variables, I developed the new segmentation of the Hungarian Reach of Sajó River and delineated 12 different sub-reaches that show similarities. I identified the breaks between different sub-reaches at inflexion points where the channel behavior and artificiality changed undoubtedly.

My detailed analysis of the sub-reaches revealed that 51,3 km of the total 124 km long Hungarian reach of Sajó River can be classified as almost natural. This length is 41.7% of the Hungarian reach.

Finally, these 12 sub-reaches were classified into the following 4 categories: natural (R3), slightly modified (R5, R7, R9, R10 and R12), modified (R4 and R11) and intensely modified (R1, R2, R6 and R8).

In my dissertation, I provided a detailed description of the sub-reach characteristics and outlined the main bank composition types.

Analysis of the river channel morphodynamics of Sajó River

I performed a detailed analysis on the long term horizontal river channel morphodynamics of the Hungarian reach of Sajó River between 1952 and 2011.

For the analysis, I used archive military aerial imagery (1952, 1956, 1975, 1980) and topographical maps (1980) and digital national orthophotographs (2000, 2005, 2011). The datasets were provided by the Hungarian Defense Forces Institute and Museum of Military, and the former Department of Geodesy, Remote Sensing and Land Offices (FÖMI).

I investigated the spatial and temporal changes of the river channel morphodynamics by calculating morphometric variables. For this purpose, first, I have orthorectified all the imagery then built a GIS database. I vectorized the river bank edges at low flow periods then calculated the centerlines. The inflexion points were defined as the point where the bends changes its direction.

I created calculated the following morphometric variables using the vectorized layers of river banks: channel width (at each 100 meters); bend length (length of centerline between two inflexion points); chord length (the direct distance between two inflexion points); amplitude (the longest perpendicular distance between the chord and the centerline); radius of curvature (radius of the greatest circle fitted into the bend); sinuosity (for bend and sub-reach scale).

I also defined the mean lateral channel shifts and the extent of erosion/accretion based on the overlaying centerlines and channel polygons in each consecutive periods.

Spatial variability of river segments regarding horizontal channel parameters and rate of artificiality

According to my results, the rate of stream gradient varied between 0.39 and 0.76 meters/kilometer. The steepest sub-reaches were the R2, R3, R7, R8. The starting point of R8 sub-reach represents a breakpoint in terms of the variability of mean chord length, mean amplitude and the mean channel width. The values of all the three morphologic variables increased downstream from this sub-reach.

I have identified the highest number of consecutive natural bends (36 in total) along the R5 sub-reach; however, these are mainly small bends since the mean chord length was the smallest (178.18 m) in this sub-reach.

I have calculated the highest sinuosity values in the “natural” and “slightly modified” sub-reaches. All of these sub-reaches exceeded the threshold of $SI=1.5$, therefore, they were all meandering types. The most developed sub-reaches were the R7 ($SI=1.83$), R9 ($SI=1.73$) and the R12 ($SI=1.99$). Moreover, all the “modified” (R4 – $SI=1.45$; R8 – $SI=1.60$) and “intensely modified” (R8 – $SI=1.44$) showed an almost meandering planform.

I investigated the statistical relationship between the morphological parameters, the bank erosion, the mean lateral channel shifts and the rate of effective discharges by Spearman’s rank correlation. According to my results, the negative correlation exists between the stream gradient and the chord length ($r = -0.55$), the amplitude ($r = -0.44$) and the channel width ($r = -0.4$). In contrast, I have identified a strong

correlation between the bend length, the chord length and the amplitude ($r = \sim 0.7$) while the strongest relationship was found between the chord length and the amplitude ($r = 0.92$). Overall, I concluded that steeper stream gradient represents shorter and less extensive river bends along the Hungarian reach of Sajó River.

Temporal variability of the planform changes

I revealed that regarding the mean bend length, in the first investigated period, the extent of bends increased except three sub-reaches (R4, R6, R10), especially the “natural” R3 sub-reach (+12.7%). During the periods of 1975-1980 and 1980-1988, mainly bend shortening processes occurred, its rate varied between -12.9 and -29.1%. The shortening rates decreased by the last two periods.

I calculated a decreasing trend regarding both the mean chord length and the amplitude, especially along the R9 and R10, while the R2 and R6 sub-reaches extended. Consequently, I concluded that generally, the bends became shorter and more concentrated spatially. Nonetheless, I also discovered translation and rotation type of extensive bend development along several sub-reaches.

Regarding the sinuosity index of the total Hungarian reach of Sajó River, I have discovered a decreasing trend until 1980 then a gradual increase occurred. Finally, by 2011, the total Hungarian reach became meandering type ($SI=1.53$).

I also calculated the sinuosity index as rate of development for individual bends as well then grouped all the bends into four further categories. Along the investigated periods, the highest number of bends (~90-120 per period respectively) were found in the category having a sinuosity value between 1.05 and 1.25. At the same time, I identified 40-60 meandering bends in average per period. According to my results, the total length of meandering bends decreased from 1975 to 2011 (from 39.19 km to 27.09 km). I have found the longest (~4-5 km) meandering reaches along the R5, R7, R8, R12 sub-reaches. Therefore, the bend evolution is not represented by the development of the meanders. I also proved the theory of Hickin and Nanson (1975), as meager channel dynamics are found along sub-reaches of low sinuosity, moreover, the highest bend development are found at more curved bends.

I demonstrated that the former river engineering works had successfully decreased the sinuosity along the “anthropogenic” type of sub-reaches. Furthermore, the bends are still developing along the “natural” and “slightly modified” sub-reaches.

I investigated the values of normalized radius of curvature only along the “natural” and “slightly modified” sub-reaches. These values increased in all sub-reaches, especially along R10, except at R5 and R9.

Regarding the rate of bank erosion and mean lateral shift, I distinguished channel changes due to natural processes and cutoffs. I demonstrated that an outstanding rate (31.81 ha/year) of natural bank erosion occurred between 1952 and 1956; however, the rate of cutoff-related channel changes was found to be the highest (5.92 ha/year) in this period as well. I also pointed out that the extensive bank erosion was followed by the almost same rate of accretion at the opposite side of the riverbank.

I tested the statistical differences between my subjective categories of “natural” (natural and slightly modified) and “anthropogenic” (modified and intensely

modified) sub-reach categories by principal component analysis (PCA). I concluded that clear differences could be found between the subjectively delineated two main categories. I also proved the sub-reach segment borders by plotting the cumulative erosion curves as well.

I pointed out that, in some cases, the “natural” and “slightly modified” sub-reaches are situated between “modified” and “intensely modified” sub-reaches and this resulted in intensive downstream bank erosion and bend development.

In order to understand the channel morphodynamics of Sajó River, I revealed the hydrological characteristics through the available discharge data given by the North Hungarian Water Directorate. There are only three gauging stations that still operate along the Hungarian reach of Sajó River. For the analysis, I used only the discharge data of the Sajópüspöki station, since it had the longest available time series.

Based on the available scientific literature, I defined the rate effective discharge (the discharge of a flood with a recurrence interval of 1.1 years) to be 139.27 m³. I also calculated the rates of floods with recurrence intervals of 2 and 5 years as well through the seven investigated periods. In terms of the duration of periods higher than the effective discharge, I noted a decrease of 0.9% between 1952 and 1975, then it was followed by an increase (1.37%) again. After this, the duration of flood periods showed a varying but decreasing trend until 2011. Then it increased again.

The rate of areas affected by bank erosion mainly matched with the trend of effective discharge periods between 1956 and 1980. After that, the river engineering works had been finished by 1980 and it affected the duration of effective discharge. The duration of floods decreased. According to my results, after 1980, the flow regime did not represent a major control on the river (e.g. only minor morphological change occurred in the period of 2005–2011) while the system has become progressively less dynamic.

Analysis of short term channel morphodynamics of Sajó River

From the year of 2014 I had started a bank erosion monitoring using Unmanned Aerial Vehicles (UAV). The selected study areas had been selected along the cities of Kazincbarcika, Sajószentpéter, Ónod and Nagycsécs. In the five years period of the monitoring I conducted 19 field surveys in total.

Another aim of this investigation was to analyze the possible driving factors of riverbank erosion processes along these reaches. For this purpose, I conducted soil sampling at 17 locations along 10 bends of the UAV-monitoring study sites. I measured the grain size distribution of the soil samples by laser diffraction analysis and dry sieving.

At the field site near Kazincbarcika, the rate of lateral channel shifts varied between 1 to 5 meters through the 3.5 years period. The maxima of the bank erosion occurred at the apex of the bends. The most intensive erosion period (15 m²/half year) was found between 2015.05 – 2016.04.

I calculated two times higher bank erosion rates at the Sajószentpéter study site, moreover, the cumulative bank erosion was 8-9 times higher. Furthermore, I discovered a recent crevasse splay development process in April 2016. The intense

flooding of February 2016 resulted in a bank erosion that removed 872 m² and 380 m³ bank material since there is no significant natural levées along the channel.

The spatial distribution of the lateral channel shifts was constant along the Ónod study site based on my results. The rate of mean channel shifts was 6-9 meter in total. The cumulative bank erosion exceeded the rate of 100 m²/half year.

The most outstanding channel shift and bank erosion rates were found along the study site of Nagycsécs. The rate of highest bank retreat was 41.8 meters along bend B.

My analysis on the grain size distribution aimed to reveal the relationships between the bank erosion and the sand content at the lower 1 meter of each riverbanks. According to the results of linear regression, I demonstrated that the higher sand content in the lower part of the banks provided higher erosion rates. I found the only exception at bend B of Nagycsécs study site. However, the sand content in that riverbank profile was only medium (~40%) but on the other hand, I calculated 35 meters of lateral channel shift. However, the rate of sandy material is not that high but in the meantime the coarser, gravel material increased in that profile. I concluded that the effective discharge could erode much more bank material along this type of banks.

Analysis of the ecological aspects of channel morphodynamics of Sajó River

The scientific literature and public usually define the river channel development and accordingly, the bank erosion, as a land degradation process. On the contrary, my aim was to investigate that is there any existing positive effects of the process from the ecological diversity point of view.

For this purpose, I investigated three consecutive bends at the Nagycsécs study site between 1952 and 2017 in ten different periods.

In order to reveal the geomorphological and ecological process at the proximity of the riverbank and the floodplain, I calculated the following class and landscape level landscape metric indices: patch density, interspersion and juxtaposition index, Shannon's diversity index and class area. The analysis was carried on using archive aerial imagery and UAV ortophotographs. I investigated the relationships between the transformation of land cover patches, the succession of vegetation, the channel morphodynamics and the agriculture by calculating confusion matrices.

I demonstrated two main types of the changes at the study area: 1) meager changes along the settlements, river channel and bar surfaces; and 2) relevant rate of changes at arable lands, grasslands and forests, from which some of them completely transformed from one category to another. The extent of grasslands decreased significantly because these areas continuously transformed into forest patches due to the succession phases or even artificially transformed into arable lands. The proportion of forests increased from 1% to 25%, moreover, according to the confusion matrices these patches became constant in terms of the transformations.

Regarding the changes in the morphometric variables and the landscape metrics, I revealed that the rates of both the sinuosity index (SI) and the forest area (CA_F) increased. The vegetation started to grow on the bar surfaces then these colonies transformed into forest patches through the succession.

The changes in the most stable succession landscape elements (forests) and the decrease of inner elements (grasslands) suggested that the transformation in the landscape structure resulted a higher diversity and stability.

The newly grown riparian vegetation on the freshly deposited bar surfaces and then the resulting riparian forests locally increase the biodiversity in a significant way. It also helps the different organisms to spread along a homogenous landscape structure, which is actually under agriculture use. This finally strengthens the Ecological Corridor role of this sub-reach of Sajó River.

I revealed that the intensively eroding riverbanks provide valuable nesting sites for protected bird species like the *Riparia riparia*. I identified more than 400 nesting hole along the eroded slump blocks. The key advantage of this process is that, generally, these birds has to find new nests year by year due to some parasites, but this intensive bank erosion removes several meters a year from the original bank. It means that the process could conserve the location of the habitat and strengthen its population.

Felhasznált irodalom

- Aber, J.S., Marzloff, I., Ries, J.B., 2010. Small-Format Aerial Photography Applications. Elsevier, Amsterdam. 261 p. DOI:10.1016/B978-0-444-53260-2.10020-1
- Ambrózi, P., Konkolyné Bihari, Z., 2010. Éghajlat. In: Dövényi, Z. (szerk.) Magyarország Kistájainak Katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. 875p.
- Ahmed, J., Constantine, J.A., Dunne, T., 2019. The role of sediment supply in the adjustment of channel sinuosity across the Amazon Basin. *Geology*. DOI:10.1130/G46319.1.
- Amissah, G., Kiss, T., Fiala, K., 2018. Morphological Evolution of the Lower Tisza River (Hungary) in the 20th Century in Response to Human Interventions. *Water* 10. DOI:10.3390/w10070884
- Andrásfalvy, B. 1970. A fok és jelentősége régi vízgazdálkodásunkban. *Nyelvtudományi Értekezések* 70, 224-228.
- Andrásfalvy, B. 2002: A fokok szerepe az ártér használatában. *Adatok a fokok készítéséről. Hidrológiai Közlemények* 82, 55-56.
- Ayele, G.T., Tebeje, A.K., Demissie, S.S., Belete, M.A., Jemberrie, M.A., Teshome, W.M., Mengistu, D.T., Teshale, E.Z., 2018. Time Series Land Cover Mapping and Change Detection Analysis Using Geographic Information System and Remote Sensing, Northern Ethiopia. *Air, Soil Water Res.* 11, 1178622117751603. DOI:10.1177/1178622117751603
- Babák, K., 2010. Alföldi folyóink ártér-fejlődési kutatásai a XX. század elejétől napjainkig. *Hidrológiai Közlemények* 90, 42–48.
- Bagnold, R.A., 1977. Bed load transport by natural rivers. *Water Resour. Res.* 13, 303–312. DOI:10.1029/WR013i002p00303
- Bakó, G., 2011. Archív légifelvétel digitalizálása. *RS & GIS - Remote Sens. Geogr. Inf. Syst.* 1, 65–82.
- Balogh, A., Kiss, K., 2014. Photogrammetric processing of aerial photographs acquired by UAVs. *Hungarian Archeol.* 40, 1–8.
- Bartha, M., Jambrik, R., 1997. Hydrogeological Conditions of the Sajó Valley. *A Miskolci Egyetem közleményei. A Sorozat. Bányászat (Publ. Univ. Miskolc. Ser. A. Min.)* 52, 13–21.
- Bartholomaeides, L. 1808. De Sajone amne, avagy „A természet jóvoltából hajózható Sajó folyóról” (ford.: Rimóczi Gáborné Hamar Márta, Miskolc, 2013). Eredeti címe: „*A természet jóvoltából hajózható Sajó folyóról, amelyet a régiek hajóikkal jártak, és amelyet az egész haza, különösképpen a Tiszán inneni és túli Magyarország, úgymint Borsod, Gömör, Szepes, Liptó, Zólyom és Nógrád vármegyék tetemes hasznára ismét hajózhatóvá kellene tenni*”. Írta: Ladislaus Bartholomaeides Löcsén, Mayer József Károly királyi privilégiumos nyomdász betűíve.
- Basatnia, N., Hossein, S.A., Rodrigo-Comino, J., Khaledian, Y., Brevik, E.C., Aitkenhead-Peterson, J., Natesan, U., 2018. Assessment of temporal and spatial

- water quality in international Gomishan Lagoon, Iran, using multivariate analysis. *Environ. Monit. Assess.* 190, 314. DOI:10.1007/s10661-018-6679-2
- Basto, M., Pereira, J.M., 2012. An SPSS R-Menu for Ordinal Factor Analysis. *J. Stat. Softw.* 46, 1–29. DOI:10.18637/jss.v046.i04
- Báldi, A., 1998. Az ökológiai hálózatok elmélete: iránymutató a védett területek és ökológiai folyosók tervezéséhez. *Állattani Közlemények* 83, 29–40.
- Belward, A.S., Skøien, J.O., 2015. Who Launched What, When and Why; Trends in Global Land-Cover Observation Capacity from Civilian Earth Observation Satellites. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 103, 115–128.
- Benedek, J., 1913. A Sajó vízereje. *Vízügyi Közlemények* 3, 208–249.
- Bennett, G., 1998. The Pan-European Ecological Network. In: Questions and Answers. Council of Europe, Amsterdam, No.4.
- Berendy, J. 1944. A Sajó hajózhatóvá tétele. A tiszapalkonyai hajózsilip alapozása. *A Magyar Mérnök és Építész-Egylet Közlönye* 78, 377-384.
- Berendy, J. 1947. A Sajócsatornázás munkálatai. *A Tisza-Dunavölgyi Társulat kiadványa*, 1.
- Bernaards, C.A., Jennrich, R.I., 2005. Gradient projection algorithms and software for arbitrary rotation criteria in factor analysis. *Educ. Psychol. Meas.* DOI:10.1177/0013164404272507
- Bertalan, L., Szabó, G., 2015. Lateral erosion monitoring along a southern section of Sajó (Slaná) River, in: Křížová, A. (Ed.), Detailed Aerial Mapping and Flood Impact Monitoring in the V4 Region. Univerzita Komenského, Bratislava, p. 4.
- Bertalan, L., Szabó, G., Szabó, S., 2016. Soil degradation induced by lateral erosion of a non-regulated alluvial river (Sajó River, Hungary), in: Zapletalová, J.; Kirchner, K. (Ed.), Aktuální Environmentální Hrozby a Jejich Impakt v Krajině (Current Environmental Threats and Their Impact in the Landscape Brno): Sborník Abstraktu Z Mezinárodního Workshopu. Ústav geoniky AV ČR, pp. 8–9.
- Bertalan, L., Tóth, C.A., Szabó, G., Nagy, G., Kuda, F., Szabó, S., 2016. Confirmation of a theory: reconstruction of an alluvial plain development in a flume experiment. *Erdkunde* 70, 271-285. DOI:10.3112/erdkunde.2016.03.05
- Bertalan, L., Novák, T., Németh, Z., Rodrigo-Comino, J., Kertész, Á., Szabó, S., 2018a. Issues of Meander Development: Land Degradation or Ecological Value? The Example of the Sajó River, Hungary. *Water* 10, paper 1613. DOI:10.3390/w10111613
- Bertalan, L., Rodrigo-Comino, J., Surian, N., Šulc Michalková, M., Szabó, G., 2018b. Complex assessment of channel changes and bank erosion hazard on the Sajó (Slaná) River, Hungary, in: Máčka, Z., Ježková, J., Nováková, E., Kuda, F. (Eds.), Geomorfologický Sborník 16: Proceedings of the Conference: State of Geomorphological Research in 2018, Vílanec, Czech Republic, 25–27 April 2018. Masaryk University, Brno, pp. 13–14.
- Bertalan, L., Rodrigo-Comino, J., Surian, N., Šulc Michalková, M., Kovács, Z., Szabó, S., Szabó, G., Hooke, J., 2019. Detailed assessment of spatial and temporal variations in river channel changes and meander evolution as a preliminary work for effective floodplain management. The example of Sajó

- River, Hungary. *J. Environ. Manage.* 248, 109277. DOI:10.1016/j.jenvman.2019.109277
- Beuselinck L., Govers G., Poesen J., Degrae, G., Froyen L. 1998. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. *Catena* 32, 193-208.
- Blanka, V. 2010. Kanyarulatfejlődés dinamikájának vizsgálata természeti és antropogén hatások tükrében. Doktori (PhD) értekezés. Szegedi Tudományegyetem, 144p.
- Blanka, V., Kiss, T., 2011. Effect of different water stages on bank erosion, case study on River Hernád, Hungary. *Carpathian J. Earth Environ. Sci.* 6, 101–108.
- Bogárdi, J., 1949. A Sajó hordalékszállítása és a hordalékos víz ülepítése. *Hidrológiai Közlöny* 29, 376–379.
- Bogárdi, J., 1950. A Sajó hordalékszállítása és a hordalékos víz ülepítése (folytatás). *Hidrológiai Közlöny* 30, 15–22.
- Bogárdi, J., 1956a. Néhány jellegzetes összefüggés a lebegtetett hordalék szállításánál. *Hidrológiai Közlöny* 36, 10–16.
- Bogárdi, J., 1956b. Jellegzetes összefüggések a görgetett hordalék szállítása és a vízfolyások hidraulikai jellemzői között. *Hidrológiai Közlöny* 36, 108–112.
- Borsy, Z., 1995. Evolution of the north-eastern part of the Great Hungarian Plain in the past 50 000 years. *Quest. Geogr.* 65–71.
- Borsy, Z., Félegyházi, E., 1983. Evolution of the network of water courses in the north-eastern part of the Great Hungarian Plain from the end of the Pleistocene to our days. *Quat. Stud. Pol.* 4, 115–124.
- Borsy, Z., Félegyházi, E., Csongor, É., 1989. A Bodroghöz kialakulása és a vízhálózatának változásai. *Alföldi Tanulmányok* 13, 65–83.
- Borsy, Z., Molnár, B., Somogyi, S., 1969. Alluviális medencesíkságok morfológiai fejlődéstörténete. *Földrajzi Közlemények* 3, 237–254.
- Bouwma, I., Wolters, R., 1998. Stepping stones towards the future. In: Wolters, R. (szerk.): *European Nature – The PanEuropean Ecological Network*. Tilburg. p. 6-9.
- Brice, J.C., 1974. Evolution of Meander Loops. *Geol. Soc. Am. Bull.* 85, 581–586.
- Brierley, G.J., Fryirs, K.A., 2008. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing. DOI:10.1002/9780470751367
- Brookes, A., 1987. River channel adjustments downstream from channelization works in England and Wales. *Earth Surf. Process. Landforms* 12, 337–351. DOI:10.1002/esp.3290120402
- Brown, A.G., Tooth, S., Bullard, J.E., Thomas, D.S.G., Chiverrell, R.C., Plater, A.J., Murton, J., Thorndycraft, V.R., Tarolli, P., Rose, J., Wainwright, J., Downs, P., Aalto, R., 2017. The geomorphology of the Anthropocene: emergence, status and implications. *Earth Surf. Process. Landforms* 42, 71–90. DOI:10.1002/esp.3943

- Buckingham, S.E., Whitney, J.W., 2007. GIS methodology for quantifying channel change in Las Vegas, Nevada. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 43, 888–898. DOI:10.1111/j.1752-1688.2007.00073.x
- Campana, D., Marchese, E., Theule, J.I., Comiti, F., 2014. Channel degradation and restoration of an Alpine river and related morphological changes. *Geomorphology* 221, 230–241. DOI:10.1016/j.geomorph.2014.06.016
- Carroll, R.,W.,H., Warwick, J.J., James, A.,I., Miller, J.R., 2004. Modeling erosion and overbank deposition during extreme flood conditions on the Carson River, Nevada. *J. Hydrology* 297, 1–21.
- Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F., Marchi, L., 2013. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology* 188, 31–41. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.05.007
- Centeri, Cs., Jakab, G., Szabó, Sz., Farsang, A., Barta, K., Szalai, Z., Bíró, Zs. 2015. Comparison of particle-size analyzing laboratory methods. *Environmental Engineering and Management Journal* 14, 1125-1135.
- Challa, Y.R., de Astudillo, L.R., Ramirez, A., Escalona, A., Martínez, G., 2008. Distribution of Total and Organic Mercury in Superficial Soils in the Upper Manzanares River Watershed, Sucre State, Venezuela. *Air, Soil Water Res.* 1, ASWR.S811. DOI:10.4137/ASWR.S811
- Charlton, R., 2008. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, 1st ed. Routledge, London.
- Clark, M.J., Montemarano, J.J., 2017. Short-Term Impacts of Remeandering Restoration Efforts on Fish Community Structure in a Fourth-Order Stream. *Water* 9. DOI:10.3390/w9070546
- Clerici, A., Perego, S., Chelli, A., Tellini, C., 2015. Morphological changes of the floodplain reach of the Taro River (Northern Italy) in the last two centuries. *J. Hydrol.* 527, 1106–1122. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.05.063
- Colomina, I., Molina, P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 92, 79–97. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013
- Cook, K.L., 2017. An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. *Geomorphology* 278, 195–208. DOI:10.1016/j.geomorph.2016.11.009
- Corenblit, D., Tabacchi, E., Steiger, J., Gurnell, A.M., 2007. Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth-Science Rev.* 84, 56–86. DOI:10.1016/j.earscirev.2007.05.004
- Cossart, É., Fressard, M., 2017. Assessment of structural sediment connectivity within catchments: insights from graph theory. *Earth Surf. Dyn.* 5, 253–268. DOI:10.5194/esurf-5-253-2017
- Cotton, J.A., Wharton, G., Bass, J.A.B., Heppell, C.M., Wotton, R.S., 2006. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment. *Geomorphology* 77, 320–334. DOI:10.1016/j.geomorph.2006.01.010

- Cox, S.E., Doncaster, D.L., Godfrey, P.E., Londe, M.D., 2018. Aerial and terrestrial-based monitoring of channel erosion, headcutting, and sinuosity. *Environ. Monit. Assess.* 190, 717. DOI:10.1007/s10661-018-7091-7
- Cserkész-Nagy, Á., Tóth, T., Vajk, Ö., Sztanó, O., 2010. Erosional scours and meander development in response to river engineering: middle Tisza region, Hungary. *Proc. Geol. Assoc.* 121, 238–247. DOI:10.1016/j.pgeola.2009.12.002
- Csoma, J., 1963. A magyarországi folyókon végzett szabályozási munkák értékelése. VITUKI összefoglaló jelentés. Budapest
- Csoma, J., 1969a. A Sajó putnoki szakaszának szabályozása. VITUKI összefoglaló jelentés, Budapest.
- Csoma, J., 1969b. Vízállások és vízhozamok különböző valószínűséggel várható értékeinek meghatározása. Szakvélemény, Budapest.
- Csoma, J., 1972. A Sajó hidrográfiája. In: *Vízrajzi Atlasz Sorozat 13. Sajó. 1. Hidrográfia, geomorfológia.* VITUKI, Budapest. pp. 8-14.
- Cunha, N.S., Magalhães, M.R., Domingos, T., Abreu, M.M., Küpfer, C., 2017. The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal. *J. Environ. Manage.* 193, 172–187. DOI:10.1016/j.jenvman.2017.01.077
- D’Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K.D., Ries, J.B., 2012. Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sens.* 4, 3390–3416. DOI:10.3390/rs4113390
- Darby, S.E., Thorne, C.R., 1992. Impact of channelization on the mimms hall brook, Hertfordshire, UK. *Regul. Rivers Res. Manag.* 7, 193–204. DOI:10.1002/rrr.3450070207
- Das, A.K., Sah, R.K., Hazarika, N., 2012. Bankline change and the facets of riverine hazards in the floodplain of Subansiri-Ranganadi Doab, Brahmaputra Valley, India. *Nat. Hazards* 64, 1015–1028. DOI:10.1007/s11069-012-0283-5
- Das, T.K., Haldar, S.K., Sarkar, D., Borderon, M., Kienberger, S., Das Gupta, I., Kundu, S., Guha-Sapir, D., 2017. Impact of riverbank erosion: A case study. *Australas. J. Disaster Trauma Stud.* 21, 73–81.
- Davis, J.C., 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*, Wiley India.
- Demeter, G., Püspöki, Z., Lazányi, I., Buday, T., 2010. Szekvencia-sztratigráfiai alapú földtani kutatás Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében. *Dominium Kiadó, Miskolc.*
- Demeter, G., Tóthné Makk, Á., Buday, T., Püspöki, Z., 2011. A nyírségi pleisztocén hordalékkúp fejlődéstörténete és öskörnyezeti rekonstrukciója. In: Rakonczai, J. (szerk.), *Környezeti Változások És Az Alföld. Nagyalföld Alapítvány; A Nagyalföld Alapítvány Kötetei; 7., Békéscsaba*, pp. 283–295.
- DeVries, P., Aldrich, R., 2015. Assessment Approach for Identifying Compatibility of Restoration Projects with Geomorphic and Flooding Processes in Gravel Bed Rivers. *Environ. Manage.* 56, 549–568. DOI:10.1007/s00267-015-0518-9
- Dépret, T., Gautier, E., Hooke, J., Grancher, D., Vermoux, C., Brunstein, D., 2015. Hydrological controls on the morphogenesis of low-energy meanders (Cher River, France). *J. Hydrol.* 531, 877–891. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.10.035
- Dieter, J., 1915. A Sajó folyó műszaki fölvétele a Tiszába való beömléstől Miskolcz felső határáig. *Vízügyi Közlemények* 1, 141–143.

- Dietrich, J.T., 2016. Riverscape mapping with helicopter-based Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology* 252, 144–157.
DOI:10.1016/j.geomorph.2015.05.008
- Dilts, T.E. (2015) Polygon to Centerline Tool for ArcGIS. University of Nevada Reno.
<http://www.arcgis.com/home/item.html?id=bc642731870740aabf48134f90aa6165>
- Di Silvio, G., Nones, M., 2014. Morphodynamic reaction of a schematic river to sediment input changes: Analytical approaches. *Geomorphology* 215, 74–82.
DOI:10.1016/j.geomorph.2013.05.021
- Di Stefano C., Ferro V., Mirabile, S. 2010. Comparison between grain size analyses using laser diffraction and sedimentation methods. *Biosystems Engineering* 106, 205-215.
- Dixon, S.J., Sear, D.A., Odoni, N.A., Sykes, T., Lane, S.N., 2016. The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surf. Process. Landforms* 41, 997–1008. DOI:10.1002/esp.3919
- Donovan, M., Belmont, P., Notebaert, B., Coombs, T., Larson, P., Souffront, M., 2019. Accounting for uncertainty in remotely-sensed measurements of river planform change. *Earth-Science Rev.* 193, 220–236.
DOI:10.1016/j.earscirev.2019.04.009
- Dotterweich, M., 2008. The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of central Europe: Deciphering the long-term interaction between humans and the environment - A review. *Geomorphology* 101, 192–208.
DOI:10.1016/j.geomorph.2008.05.023
- Dort, W., Jr., 1978. Channel Migration Investigation, Historic Channel Change Maps, Kansas River and Tributaries Bank Stabilization Component, Kansas and Osage Rivers. Kansas Study, U.S. Army Corps of Engineers, Kansas City District.
- Downs, P.W., Piégay, H., 2019. Catchment-scale cumulative impact of human activities on river channels in the late Anthropocene: Implications, limitations, prospect. *Geomorphology* In press. DOI:10.1016/j.geomorph.2019.03.021
- Dragičević, S., Tošić, R., Stepić, M., Živković, N., Novković, I., 2013. Consequences of the River Bank Erosion in the Southern Part of the Pannonian Basin: Case Study – Serbia and the Republic of Srpska. *Forum Geogr. Stud. și Cercet. Geogr. și protecția Mediu.* 12, 5–15. DOI:10.5775/fg.2067-4635.2013.008.i
- Dragičević, S., Pripuzić, M., Živković, N., Novković, I., Kostadinov, S., Langović, M., Milojković, B., Čvorović, Z., 2017. Spatial and temporal variability of bank erosion during the period 1930–2016: Case study—Kolubara River Basin (Serbia). *Water* 9. DOI:10.3390/w9100748
- Draut, A.E., Logan, J.B., Mastin, M.C., 2011. Channel evolution on the dammed Elwha River, Washington, USA. *Geomorphology* 127, 71–87.
DOI:10.1016/j.geomorph.2010.12.008
- Dunka, S., Fejér, L., Vágás, I., 1996. A verítékes honfoglalás - A Tisza szabályozás története. *Vízügyi Múzeum és Levéltár, Budapest.*

- East, A.E., Jenkins, K.J., Happe, P.J., Bountry, J.A., Beechie, T.J., Mastin, M.C., Sankey, J.B., Randle, T.J., 2016. Channel-planform evolution in four rivers of Olympic National Park, Washington, USA: the roles of physical drivers and trophic cascades. *Earth Surf. Process. Landforms* 42, 1011–1032. DOI:10.1002/esp.4048
- Egri, B., 1967. Az ipar szerepe Tiszaszederkény várossá alakulásában. *Megyei és Városi Statisztikai Értesítő* 7, 354-360.
- Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., Abellán, A., 2016. Image-based surface reconstruction in geomorphometry - merits, limits and developments. *Earth Surf. Dyn.* 4, 359–389. <https://doi.org/10.5194/esurf-4-359-2016>
- Észak-magyarországi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság - Vízügyi és Környezet-védelmi Központi Igazgatóság., 2010. A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása. *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv. 2-6 Sajó a Bódvával. Miskolc.*
- Észak-magyarországi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság - Vízügyi és Környezet-védelmi Központi Igazgatóság., 2015. A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása. *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv. 2-6 Sajó a Bódvával. Miskolc.*
- Fekete, Z., 1907. A Sajó folyó csatornázása a Tiszától Bánrévéig, (X. rajzmelléklet). *Vízügyi Közlemények* 23, 34–36.
- Felsőházi Irományok, 1927. VII. kötet, 217. sz. 463. old.
- Felsőházi Irományok, 1939. IX. kötet, 750. sz. 142. old.
- Félegyházi, E., Kiss, T., Szabó, J., 2009. *Természetföldrajzi gyakorlatok. Debreceni Egyetemi Kiadó. Debrecen. 172p.*
- Feng, Q., Zhao, W., Wang, J., Zhang, X., Zhao, M., Zhong, L., Liu, Y., Fang, X., 2016. Effects of Different Land-Use Types on Soil Erosion Under Natural Rainfall in the Loess Plateau, China. *Pedosphere* 26, 243–256. DOI:10.1016/S1002-0160(15)60039-X
- Feng, T., Wei, W., Chen, L., Rodrigo-Comino, J., Die, C., Feng, X., Ren, K., Brevik, E.C., Yu, Y., 2018. Assessment of the impact of different vegetation patterns on soil erosion processes on semiarid loess slopes. *Earth Surf. Process. Landforms* 43, 1860–1870. DOI:10.1002/esp.4361
- Fonstad, M.A., Dietrich, J.T., Courville, B.C., Jensen, J.L., Carbonneau, P.E., 2013. Topographic structure from motion: A new development in photogrammetric measurement. *Earth Surf. Process. Landforms* 38, 421–430. DOI:10.1002/esp.3366
- Franyó, F., 1966. A Sajó-Hernád hordalékkúpja a negyedkori földtani események tükrében. *Földrajzi Értesítő* 15, 153-178.
- Gábris, Gy., 1995. A folyóvízi felszínalakítás módosulásai a hazai későglaciális-holocén öskörnyezet változásainak tükrében. *Földrajzi Közlemények* 119, 3–10.
- Gábris, Gy., 2002. A Tisza helyváltozásai. In: Mészáros, R., Schweitzer, F. (szerk.), Jakucs László, a Tudós, Az Ismeretterjesztő És a Művész. Tanulmányok Jakucs László Professzor Emlékére. MTA-FKI, Pécs, pp. 91–105.
- Gábris, Gy. 2003. Övzátony vagy parti hát? *Földrajzi Közlemények* 51, 1-13.

- Gábris, Gy., Nagy, B., 2005. Climate and tectonically controlled river style changes on the Sajó-Hernád alluvial fan (Hungary). *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 251, 61 LP – 67. DOI:10.1144/GSL.SP.2005.251.01.05
- Gábris, Gy., Nádor, A., 2007. Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis. *Quat. Sci. Rev.* 26, 2758–2782. DOI:10.1016/j.quascirev.2007.06.030
- Garcia, X.F., Schnauder, I., Pusch, M.T., 2012. Complex hydromorphology of meanders can support benthic invertebrate diversity in rivers. *Hydrobiologia* 685, 49–68. DOI:10.1007/s10750-011-0905-z
- Gautier, E., Brunstein, D., Vauchel, P., Roulet, M., Fuertes, O., Guyot, J.L., Darozzes, J., Bourrel, L., 2007. Temporal relations between meander deformation, water discharge and sediment fluxes in the floodplain of the Rio Beni (Bolivian Amazonia). *Earth Surf. Process. Landforms* 32, 230–248. DOI:10.1002/esp.1394
- Geiger, J. 2004. A pannóniai Újfalui (Törteli) Formációban levő Algyői delta fejlődéstörténete - II.: Üledékszerkezeti jegyek az Algyői deltában. *Földtani Közlöny* 134, 55-73.
- Geiger, J., Gulyás, S. 2005. Crevasse splay: a comparison of modern and fossil examples from Hungary. In: Hum, L., Gulyás, S., Sümegei, P. (eds.) *Environmental historical studies from the Late Tertiary and Quaternary of Hungary*, University of Szeged, Dept. of Geology, Szeged 57-73.
- Girvetz, E.H., 2010. Removing erosion control projects increases bank swallow (*Riparia riparia*) population viability modeled along the Sacramento River, California, USA. *Biol. Conserv.* 143, 828–838. DOI:10.1016/j.biocon.2009.12.016
- Goda, L., 1965. Magyarország vízvidékeinek hidrológiai viszonyai. VITUKI, Budapest
- Goudie, A., 1990. *Geomorphological techniques* (second edition). British Geomorphological Research Group. Routledge, New York. 540p. DOI:10.1016/0022-1694(82)90159-7
- Goudie, A., 2018. The human impact in geomorphology – 50 years of change. *Geomorphology* (In press). DOI:10.1016/j.geomorph.2018.12.002
- Greco, S.E., Fremier, A.K., Larsen, E.W., Plant, R.E., 2007. A tool for tracking floodplain age land surface patterns on a large meandering river with applications for ecological planning and restoration design. *Landsc. Urban Plan.* 81, 354–373. DOI:10.1016/j.landurbplan.2007.01.002
- Gregory, K.J., 2006. The human role in changing river channels. *Geomorphology* 79, 172–191. DOI:10.1016/j.geomorph.2006.06.018
- Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A.E., MacDonald, G.K., Zarfl, C., Reidy Liermann, C., 2015. An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environ. Res. Lett.* 10, 15001. DOI:10.1088/1748-9326/10/1/015001
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Borrelli, P., Cheng, L., Crochetiere, H., Ehalt Macedo, H., Filgueiras, R.,

- Goichot, M., Higgins, J., Hogan, Z., Lip, B., McClain, M.E., Meng, J., Mulligan, M., Nilsson, C., Olden, J.D., Opperman, J.J., Petry, P., Reidy Liermann, C., Sáenz, L., Salinas-Rodríguez, S., Schelle, P., Schmitt, R.J.P., Snider, J., Tan, F., Tockner, K., Valdujo, P.H., van Soesbergen, A., Zarfl, C., 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* 569, 215–221. DOI:10.1038/s41586-019-1111-9
- Gumiero, B., Rinaldi, M., Belletti, B., Lenzi, D., Puppi, G., 2015. Riparian vegetation as indicator of channel adjustments and environmental conditions: the case of the Panaro River (Northern Italy). *Aquat. Sci.* 77, 563–582. DOI:10.1007/s00027-015-0403-x
- Gurnell, A.M., 1997. Channel change on the River Dee meanders, 1946–1992, from the analysis of air photographs. *Regul. Rivers Res. Manag.* 13, 13–26. DOI:10.1002/(SICI)1099-1646(199701)13:1<13::AID-RRR420>3.0.CO;2-W
- Gurnell, A.M., Corenblit, D., García de Jalón, D., González del Tánago, M., Grabowski, R.C., O'Hare, M.T., Szewczyk, M., 2015. A Conceptual Model of Vegetation–hydrogeomorphology Interactions Within River Corridors. *River Res. Appl.* 32, 142–163. DOI:10.1002/rra.2928
- Gurnell, A.M., Grabowski, R.C., 2015. Vegetation–Hydrogeomorphology Interactions in a Low-Energy, Human-Impacted River. *River Res. Appl.* 32, 202–215. DOI:10.1002/rra.2922
- Gurnell, A.M., Bertoldi, W., Corenblit, D., 2012. Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. *Earth-Science Rev.* 111, 129–141. DOI:10.1016/j.earscirev.2011.11.005
- Güneralp, I., Rhoads, B.L., 2009. Empirical analysis of the planform curvature-migration relation of meandering rivers. *Water Resour. Res.* 45, W09424. DOI:10.1029/2008WR007533
- Güneralp, I., Abad, J.D., Zolezzi, G., Hooke, J., 2012. Advances and challenges in meandering channels research. *Geomorphology* 163–164, 1–9. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.04.011
- Gyurácz, J., Nagy, K., Fuisz, T.I., Karcza, Z., Szép, T., 2013. European bee-eater (*Merops apiaster* Linnaeus, 1758) in Hungary: A review. *Ornis Hungarica* 21, 1–22. DOI:10.2478/orhu-2014-0001
- Habersack, H., Piégay, H., 2007. 27 River restoration in the Alps and their surroundings: past experience and future challenges, in: Habersack, H., Piégay, H., Rinaldi, M. (Eds.), *Gravel-Bed Rivers VI: From Process Understanding to River Restoration*. Elsevier, pp. 703–735. DOI:10.1016/S0928-2025(07)11161-5
- Habersack, H., Schober, B., Hauer, C., 2015. Floodplain evaluation matrix (FEM): An interdisciplinary method for evaluating river floodplains in the context of integrated flood risk management. *Nat. Hazards* 75, 5–32. DOI:10.1007/s11069-013-0842-4
- Habersack, H., Hein, T., Stanica, A., Liska, I., Mair, R., Jäger, E., Hauer, C., Bradley, C., 2016. Challenges of river basin management: Current status of, and

- prospects for, the River Danube from a river engineering perspective. *Sci. Total Environ.* 543, 828–845. DOI:10.1016/j.scitotenv.2015.10.123
- Hackney, C., Best, J., Leyland, J., Darby, S.E., Parsons, D., Aalto, R., Nicholas, A., 2015. Modulation of outer bank erosion by slump blocks: Disentangling the protective and destructive role of failed material on the three-dimensional flow structure. *Geophys. Res. Lett.* 42, 10,663–10,670. DOI:10.1002/2015GL066481
- Hajdukiewicz, H., Wyzga, B., 2019. Aerial photo-based analysis of the hydromorphological changes of a mountain river over the last six decades: The Czarny Dunajec, Polish Carpathians. *Sci. Total Environ.* 648, 1598–1613. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.08.234
- Hajdú, O., 2003. A kovarianciastruktúra-modellek illeszkedésvizsgálata. *Statiztikai Szemle* 81, 442–465.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron.* DOI:10.1016/j.bcp.2008.05.025
- Hastedt, H., Ekkel, T., Luhmann, T., 2016. Evaluation of the quality of action cameras with wide-angle lenses in UAV photogrammetry. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XLI-B1, 851–859. DOI:10.5194/isprs-archives-XLI-B1-851-2016
- Heo, J., Duc, T.A., Cho, H.S., Choi, S.U., 2009. Characterization and prediction of meandering channel migration in the GIS environment: A case study of the Sabine River in the USA. *Environ. Monit. Assess.* 152, 155–165. DOI:10.1007/s10661-008-0304-8
- Hey, R.D. 1991. *Streambank Protection in England and Wales; R&D Note 22; National Rivers Authority: Bristol.*
- Hickin, E.J., 1972. Pseudomeanders and point dunes; a flume study. *Am. J. Sci.* 272, 762–799. DOI:10.2475/ajs.272.8.762
- Hickin, E.J., 1974. The Development of Meanders in Natural River Channels. *Am. J. Sci.* 274, 414–442. DOI:10.2475/ajs.274.4.414
- Hickin, E.J., 1978. Hydraulic factors controlling channel migration, in: Davidson-Arnott, R., Nickling, W. (Eds.), *Research in Fluvial Geomorphology, Proceedings Fifth Guelph Symposium on Geomorphology.* pp. 59–66.
- Hickin, E.J., Nanson, G.C., 1975. The character of channel migration on the Beaton River, Northeast British Columbia, Canada. *Bull. Geol. Soc. Am.* 86, 487–494. DOI:10.1130/0016-7606(1975)86<487:TCOCMO>2.0.CO;2
- Hill, M.O., 1973. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology* 54, 427–432. DOI:10.2307/1934352
- Hock, K., 1958. A magyar víziutak. *Vízügyi Közlemények* 40, 405–421.
- Hohensinner, S., Jungwirth, M., Muhar, S., Schmutz, S., 2011. Spatio-temporal habitat dynamics in a changing Danube River landscape 1812—2006. *River Res. Appl.* 27, 939–955. DOI:10.1002/rra.1407
- Hooke, J.M., 1980. Magnitude and distribution of rates of river bank erosion. *Earth Surf. Process. Landforms* 5, 143–157. DOI:10.1002/esp.3760050205
- Hooke, J.M., Harvey, A.M., 1983. Meander Changes in Relation to Bend Morphology and Secondary Flows, in: Collinson, J.D., Lewin, J. (Eds.),

- Modern and Ancient Fluvial Systems, Wiley Online Books.
DOI:10.1002/9781444303773.ch9
- Hooke, J.M., 1984. Changes in river meanders: A review of techniques and results of analyses. *Prog. Phys. Geogr.* 8, 473–508.
DOI:10.1177/030913338400800401
- Hooke, J.M., 2004. Cutoffs galore!: occurrence and causes of multiple cutoffs on a meandering river. *Geomorphology* 61, 225–238.
DOI:10.1016/j.geomorph.2003.12.006
- Hooke, J.M., 2007. Spatial variability, mechanisms and propagation of change in an active meandering river. *Geomorphology* 84, 277–296.
DOI:10.1016/j.geomorph.2006.06.005
- Hooke, J.M., 2008. Temporal variations in fluvial processes on an active meandering river over a 20-year period. *Geomorphology* 100, 3–13.
DOI:10.1016/j.geomorph.2007.04.034
- Hooke, J.M., Gautier, E., Zolezzi, G., 2011. River meander dynamics: Developments in modelling and empirical analyses. *Earth Surf. Process. Landforms* 36, 1550–1553. DOI:10.1002/esp.2185
- Hooke, J.M., Yorke, L., 2010. Rates, distributions and mechanisms of change in meander morphology over decadal timescales, River Dane, UK. *Earth Surf. Process. Landforms* 35, 1601–1614. DOI:10.1002/esp.2079
- Hou, W., Neubert, M., Walz, U., 2017. A simplified econet model for mapping and evaluating structural connectivity with particular attention of ecotones, small habitats, and barriers. *Landsc. Urban Plan.* 160, 28–37.
DOI:10.1016/j.landurbplan.2016.11.008
- Hudson, P.F., Kesel, R.H., 2000. Channel migration and meander-bend curvature in the Lower Mississippi River prior to major human modification. *Geology* 28, 531–534. DOI:10.1130/0091-7613(2000)28%3C531:CMAMCI%3E2.0.CO;2
- Hudson, P.F., Heitmuller, F.T., 2003. Local- and watershed-scale controls on the spatial variability of natural levee deposits in a large fine-grained floodplain: Lower Pánuco Basin, Mexico. *Geomorphology* 56, 255–269.
- Hughes, M.L., McDowell, P.F., Marcus, W.A., 2006. Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology* 74, 1–16.
DOI:10.1016/j.geomorph.2005.07.001
- Hunter JR, M.L., 1999. *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*. Cambridge Univ. Press. DOI:10.1046/j.1365-2664.1999.00459-3.x
- Ibisate, A., Díaz, E., Ollero, A., Acín, V., Granado, D., 2013. Channel response to multiple damming in a meandering river, middle and lower Aragón River (Spain). *Hydrobiologia* 712, 5–23. DOI:10.1007/s10750-013-1490-0
- Ihrig, D., 1967. A vízrendezési munkák fejlődése. *Hidrológiai Közlöny* 47, 156–165.
- Ihrig, D., 1973. *A magyar vízszabályozás története*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Iwasaki, T., Shimizu, Y., Kimura, I., 2016. Numerical simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River. *Adv. Water Resour.* 93, 118–134. DOI:10.1016/j.advwatres.2015.02.001

- Jähnig, S.C., Brabec, K., Buffagni, A., Erba, S., Lorenz, A.W., Ofenböck, T., Verdonshot, P.F.M., Hering, D., 2010. A comparative analysis of restoration measures and their effects on hydromorphology and benthic invertebrates in 26 central and southern European rivers. *J. Appl. Ecol.* 47, 671–680. DOI:10.1111/j.1365-2664.2010.01807.x
- James, L.A., 2015. Designing forward with an eye to the past: Morphogenesis of the lower Yuba River. *Geomorphology* 251, 31–49. DOI:10.1016/j.geomorph.2015.07.009
- James, M.R., Robson, S., 2012. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 117, F03017. DOI:10.1029/2011JF002289
- James, M.R., Robson, S., d'Oleire-Oltmanns, S., Niethammer, U., 2017. Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment. *Geomorphology* 280, 51–66. DOI:10.1016/j.geomorph.2016.11.021
- Javernick, L., Brasington, J., Caruso, B., 2014. Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology* 213, 166–182. DOI:10.1016/j.geomorph.2014.01.006
- Jolánkai, G., 1946. Hidrológiai kérdések a vízi utak tervezésénél. *Hidrológiai Közlöny* 26, 94–100.
- Jongman, R.H.G., Bouwma, I.M., Griffioen, A., Jones-Walters, L., Van Doorn, A.M., 2011. The Pan European Ecological Network: PEEN. *Landsc. Ecol.* 26, 311–326. DOI:10.1007/s10980-010-9567-x
- Joreskog, K., Sorbom, D., 1993. LISREL 8 user's reference guide, Scientific Software International.
- Kaiser, H.F., 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23, 187–200. DOI:10.1007/BF02289233
- Kákóczki, B., 2016. A szederkényi uradalom történeti földrajza, 1st ed. Tiszaújváros város Önkormányzata a Derkovits Gyula Művelődési Központ közreműködésével, Tiszaújváros.
- Kalmár, S., Kozma, K., 2012. A demonstration of the geomorphological value of radio-controlled aerial vehicle imaging techniques in the study of the Hernád River. *Zeitschrift für Geomorphol.* 56, 121–132. DOI:10.1127/0372-8854/2012/S-00094
- Károlyi, Z., 1964. Folyószabályozás módszereinek kialakítása a Hernádon és a Sajón a határon túli szabályozási munkák figyelembevételével. VITUKI összefoglaló jelentés. Budapest
- Katona, O., Sipos, G., Onaca, A., Ardelean, F., 2012. Reconstruction of palaeo-hydrology and fluvial architecture at the Orosháza palaeo-channel of River Maros, Hungary. *J. Environ. Geogr.* 5, 29–38.
- Kavian, A., Mohammadi, M., Gholami, L., Rodrigo-Comino, J., 2018. Assessment of the Spatiotemporal Effects of Land Use Changes on Runoff and Nitrate Loads in the Talar River. *Water* 10. DOI:10.3390/w10040445

- Keesstra, S.D., 2007. Impact of natural reforestation on floodplain sedimentation in the Dragonja basin, SW Slovenia. *Earth Surf. Process. Landforms* 32, 46–65. DOI:10.1002/esp.1360
- Keesstra, S.D., van Huissteden, J., Vandenberghe, J., Van Dam, O., de Gier, J., Pleizier, I.D., 2005. Evolution of the morphology of the river Dragonja (SW Slovenia) due to land-use changes. *Geomorphology* 69, 197–207. DOI:10.1016/j.geomorph.2005.01.004
- Keesstra, S., Nunes, J.P., Saco, P., Parsons, T., Poepl, R., Masselink, R., Cerdà, A., 2018. The way forward: Can connectivity be useful to design better measuring and modelling schemes for water and sediment dynamics? *Sci. Total Environ.* 644, 1557–1572. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.06.342
- Kis, É., Lóczy, D., 2018. Természeti és antropogén tényezők szerepe az alsó-tisza menti partfal-instabilitások kialakulásában. *Földrajzi Közlemények* 142, 328–343. DOI:10.32643/fk.142.4.5
- Kiss, A., 2014. A 2010-es Sajó-völgyi árvizet követő kárenyhítés vizsgálata az ingatlanok példáján. *Agrártudományi Közlemények (Acta Agrar. Debreceniensis)* 60, 5–14.
- Kiss, A., Bekő, L., 2015. A Sajó-völgy gazdasági adottságainak vizsgálata a 2010-es árvíz vonatkozásában. *Acta Carolus Robertus* 5, 53–62.
- Kiss, T., 2014. *Geomorfológiai vizsgálati módszerek*. JATEPress. Szeged. 228p.
- Kiss, T., 2015. Fluviális folyamatok antropogén hatásra megváltozó dinamikája: egyensúly és érzékenység vizsgálata folyóvízi környezetben. MTA Doktori értekezés.
- Kiss, T., Balogh, M., 2015. Characteristics of Point-Bar Development under the Influence of a Dam: Case Study on the Dráva River at Sigetec, Croatia. *J. Environ. Geogr.* 8, 23–30. DOI:10.1515/jengeo-2015-0003
- Kiss, T., Sipos, Gy., Fiala, K., 2002. Recens üledékfelhalmozódás sebességének vizsgálata az Alsó-Tiszán. *Vízügyi Közlemények* 84, 456-472.
- Kiss, T., Blanka, V., 2006. Kanyarulatfejlődés vizsgálata a Maros alsó szakaszán. *Hidrológiai Közlöny* 86, 19–22.
- Kiss, T., Blanka, V., 2012. River channel response to climate- and human-induced hydrological changes: Case study on the meandering Hernád River, Hungary. *Geomorphology* 175–176, 115–125. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.07.003
- Kiss, T., Blanka, V., Sipos, G., 2009. Morphometric change due to altered hydrological conditions in relation with human impact, River Hernád, Hungary. *Zeitschrift für Geomorphol. Suppl. Issues* 53, 197–213. DOI:10.1127/0372-8854/2009/0053S3-0197
- Kiss, T., Fiala, K., Sipos, G., 2008. Alterations of channel parameters in response to river regulation works since 1840 on the Lower Tisza River (Hungary). *Geomorphology* 96, 96–110. DOI:10.1016/j.geomorph.2007.02.027
- Kiss, T., Hernesz, P., Sümeghy, B., Györgyövcics, K., Sipos, G., 2014. The evolution of the Great Hungarian Plain fluvial system - Fluvial processes in a subsiding area from the beginning of the Weichselian. *Quat. Int.* 388, 142–155. DOI:10.1016/j.quaint.2014.05.050

- Kiss, T., Balogh, M., Fiala, K., Sipos, Gy. 2018. Morphology of fluvial levee series along a river under human influence, Maros River, Hungary. *Geomorphology* 303, 309-321.
- Kleinhans, M.G., de Vries, B., Braat, L., van Oorschot, M., 2018. Living landscapes: Muddy and vegetated floodplain effects on fluvial pattern in an incised river. *Earth Surf. Process. Landforms*. DOI:10.1002/esp.4437
- Kondolf, G.M., 2006. River restoration and meanders. *Ecol. Soc.* 11, 42. DOI:10.5751/ES-01795-110242
- Kondrlová, E., Igaz, D., Horák, J., 2012. Determination of sample preparation method for laser diffraction: from suspension towards soil paste, *Plant Production* 61, 275-278.
- Konsoer, K.M., Rhoads, B.L., Best, J.L., Langendoen, E.J., Abad, J.D., Parsons, D.R., Garcia, M.H., 2016a. Three-dimensional flow structure and bed morphology in large elongate meander loops with different outer bank roughness characteristics. *Water Resour. Res.* 52, 9621–9641. DOI:10.1002/2016WR019040
- Konsoer, K.M., Rhoads, B.L., Langendoen, E.J., Best, J.L., Ursic, M.E., Abad, J.D., Garcia, M.H., 2016b. Spatial variability in bank resistance to erosion on a large meandering, mixed bedrock-alluvial river. *Geomorphology* 252, 80–97. DOI:10.1016/j.geomorph.2015.08.002
- Konsoer, K., Rhoads, B., Best, J., Langendoen, E., Ursic, M., Abad, J., Garcia, M., 2017. Length scales and statistical characteristics of outer bank roughness for large elongate meander bends: The influence of bank material properties, floodplain vegetation and flow inundation. *Earth Surf. Process. Landforms* 42, 2024–2037. DOI:10.1002/esp.4169
- Kovács, S., 2007. Kisköre, déli országhatár közötti Tisza szakasz lefolyásviszonyainak jellemzése, ATIKÖVIZIG és KÖTIKÖVIZIG, Kézirat, 1-43
- Kozma, K., 2015. A csapadék, a vízjárás és a mederfejlődés összefüggései a Hernád mentén, különös tekintettel az Alsódotsza-Gesztely közötti szakaszra. Egyetemi doktori (PhD) disszertáció, 129p.
- Kozma, K., Puskás, J., Drégelyi-Kiss, Á., 2014. The changes in precipitation during 124 years and its influences on the physical conditions of Hernád River. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 12, 523–536.
- Kraus, K., 2007. *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*, 2nd edition, De Gruyter, Berlin, Germany, 459p.
- Kun, Á., Katona, O., Sipos, Gy., Barta, K. 2013. Comparison of pipette and laser diffraction methods in determining the granulometric content of fluvial sediment samples. *Journal of Environmental Geography* 6, 49-54.
- Kvassay, J., 1912. A magyarországi folyók csatornázásáról. *Vízügyi Közlemények* 2, 1–7.
- LacZay, I., 1972. A Sajó szabályozása és kanyarulati viszonyai. In: *Vízrajzi Atlasz Sorozat 13. Sajó. 1. Hidrográfia, geomorfológia*. VITUKI, Budapest. pp. 27-34.
- LacZay, I., 1973. A Hernád szabályozása. In: *Vízrajzi Atlasz sorozat 16 – Hernád*. VITUKI, Budapest. pp. 23-29.

- Laczay, I., 1977. Channel pattern changes of Hungarian rivers: the example of the Hernád River, in: Gregory, K.J. (Ed.), *River Channel Changes*. Wiley, Chichester, pp. 185–192.
- Langat, P.K., Kumar, L., Koech, R., 2019. Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. *Geomorphology* 325, 92–102. DOI:10.1016/j.geomorph.2018.10.007
- Langendoen, E.J., Andrew, S., 2008. Modeling the Evolution of Incised Streams. II: Streambank Erosion. *J. Hydraul. Eng.* 134, 905–915. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:7(905)
- Láng, S., 1944. Geomorfológiai vizsgálatok a Miskolci kapuban. *Földrajzi Közlemények* 72-75, 81-120.
- Láng, S., 1949a. Geomorfológiai és hidrológiai tanulmányok Gömörben. *Hidrológiai Közlöny* 29, 2–10.
- Láng, S., 1949c. Geomorfológiai és hidrológiai tanulmányok Gömörben. III. A Sajó felső völgye és a rozsnyói medence. *Hidrológiai Közlöny* 29, 141–148.
- Láng, S., 1954. Hidrológiai és morfológiai tanulmányok a Bükkben. *Hidrológiai Közlöny* 34, 70–81.
- Larned, S.T., Datry, T., Arscott, D.B., Tockner, K., 2010. Emerging concepts in temporary-river ecology. *Freshw. Biol.* 55, 717–738. DOI:10.1111/j.1365-2427.2009.02322.x
- Leél-Össy, S., 1951. Az Északi Középhegység geomorfológiai problémái. *Földrajzi Értesítő* 3, 54-55.
- Leél-Össy, S., 1954. A Magas-Bükk geomorfológiája. *Földrajzi Értesítő* 4, 323-324.
- Lehotský, M., Rusnák, M., Kidová, A., Dudžák, J., 2017. Multitemporal assessment of coarse sediment connectivity along a braided-wandering river. *L. Degrad. Dev.* 29, 1249–1261. DOI:10.1002/ldr.2870
- Lejot, J., Delacourt, C., Piégay, H., Fournier, T., Trémélo, M.-L., Allemand, P., 2007. Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform. *Earth Surf. Process. Landforms* 32, 1705–1725. DOI:10.1002/esp.1595
- Lesenyai, J., 1952. A Sajó szennyezettsége. *Hidrológiai Közlöny* 32, 106–113.
- Lewis, H.G., Brown, M., 2001. A generalized confusion matrix for assessing area estimates from remotely sensed data. *Int. J. Remote Sens.* 22, 3223–3235. DOI:10.1080/01431160152558332
- Li, L., Lu, X.X., Chen, Z., 2007. River channel change during the last 50 years in the middle Yangtze River, the Jianli reach. *Geomorphology* 85, 185–196. DOI:10.1016/j.geomorph.2006.03.035
- Liro, M., 2015. Estimation of the impact of the aerialphoto scale and the measurement scale on the error in digitization of a river bank. *Zeitschrift für Geomorphol.* 59, 443–453. DOI:10.1127/zfg/2014/0164
- Liro, M., 2015. Gravel-bed channel changes upstream of a reservoir: The case of the Dunajec River upstream of the Czorsztyn Reservoir, southern Poland. *Geomorphology* 228, 694–702. DOI:10.1016/j.geomorph.2014.10.030
- Lóczy, D., Pirkhoffer, E., 2009. Mapping direct human impact on the topography of Hungary. *Zeitschrift für Geomorphologie* 53, 215–222.

DOI:10.1127/0372-8854/2009/0053S3-0215.

- Lóki, J., Félegyházi, E., 2008. A Bodrogtörzs kialakulása és mai felszíne. In: Tuba, Z. (szerk.), *Bodrogtörzs (A Magyarországi Bodrogtörzs Tájmonográfiája)*. Lorántffy Zsuzsanna Szellemében Alapítvány, Sárospatak, pp. 99–123.
- López, R., Frohn, R., 2017. *Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- López-Vicente, M., Quijano, L., Palazón, L., Gaspar, L., Navas, A., 2015. Assessment of soil redistribution at catchment scale by coupling a soil erosion model and a sediment connectivity index (central Spanish pre-Pyrenees). *Cuad. Investig. Geográfica* 41, 127. DOI:10.18172/cig.2649
- Lotsari, E., Vaaja, M., Flener, C., Kaartinen, H., Kukko, A., Kasvi, E., Hyypä, H., Hyypä, J., Alho, P., 2014. Annual bank and point bar morphodynamics of a meandering river determined by high-accuracy multitemporal laser scanning and flow data. *Water Resour. Res.* 50, 5532–5559. DOI:10.1002/2013WR014106
- Madarász, B., Jakab, G., Szalai, Z., Juhos, K. 2012. Lézeres szemcseösszetétel elemzés néhány előkészítő eljárásának vizsgálata nagy szervesanyag-tartalmú talajokon. *Agrokémia és Talajtan* 61, 381-398.
- Mair, P., Wilcox, R., 2018. Robust statistical methods Using WRS2. Lect. notes Math. 690. <https://cran.r-project.org/web/packages/WRS2/vignettes/WRS2.pdf>
- Manfreda, S., McCabe, F.M., Miller, E.P., Lucas, R., Pajuelo Madrigal, V., Mallinis, G., Ben Dor, E., Helman, D., Estes, L., Ciraolo, G., Müllerová, J., Tauro, F., de Lima, I.M., de Lima, L.J., Maltese, A., Frances, F., Caylor, K., Kohv, M., Perks, M., Ruiz-Pérez, G., Su, Z., Vico, G., Toth, B., 2018. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sensing* 10(4), paper 641. DOI:10.3390/rs10040641
- Manfreda, S., Dvorak, P., Mullerova, J., Herban, S., Vuono, P., Arranz Justel, J.J., Perks, M., 2019. Assessing the Accuracy of Digital Surface Models Derived from Optical Imagery Acquired with Unmanned Aerial Systems. *Drones* 3, paper 15. DOI:10.3390/drones3010015
- McCabe, M.F., Rodell, M., Alsdorf, D.E., Miralles, D.G., Uijlenhoet, R., Wagner, W., Lucieer, A., Houborg, R., Verhoest, N.E.C., Franz, T.E., Shi, J., Gao, H., Wood, E.F., 2017. The future of Earth observation in hydrology. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21, 3879–3914. DOI:10.5194/hess-21-3879-2017
- McGarigal, K., Marks, B., 1995. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. USDA.
- McGrane, S.J., 2016. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrol. Sci. J.* 61, 2295–2311. DOI:10.1080/02626667.2015.1128084
- McIntosh, R.W., 2014. A Bükkium morfológiája. Egyetemi doktori (PhD) értekezés. Debrecen. 142p.
- Mecser, N., Demeter, G., Szabó, G., 2009. Morphometric changes of the Bodrog River from the Late 18th c. to 2006. *Acta Geogr. Debrecina Landsc. Environ.* 3, 28–40.

- Merwade, V.M., Maidment, D.R., Hodges, B.R., 2005. Geospatial Representation of River Channels. *J. Hydrol. Eng.* 10, 243–251. DOI:10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:3(243)
- Michalková, M., Piégay, H., Kondolf, G.M., Greco, S.E., 2011. Lateral erosion of the Sacramento River, California (1942-1999), and responses of channel and floodplain lake to human influences. *Earth Surf. Process. Landforms* 36, 257–272. DOI:10.1002/esp.2106
- Micheli, E.R., Kirchner, J.W., Larsen, E.W., 2004. Quantifying the effect of riparian forest versus agricultural vegetation on river meander migration rates, central Sacramento River, California, USA. *River Res. Appl.* 20, 537–548. DOI:10.1002/rra.756
- Micheli, E.R., Larsen, E.W., 2011. River channel cutoff dynamics, Sacramento River, California, USA. *River Res. Appl.* 27, 328–344. DOI:10.1002/rra.1360
- Micheletti, N., Chandler, J. H., Lane, S. N., 2014. Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone. *Earth Surf. Proc. Land.*, 40, 473–486. DOI:10.1002/esp.3648
- Mike, K., 1972., A Sajó geomorfológiája. In: *Vízrajzi Atlasz Sorozat 13. Sajó. 1. Hidrográfia, geomorfológia.* VITUKI, Budapest. pp. 15-26. *(tévedésből az Atlaszban Bendefy László neve alatt jelent meg a fejezet – Forrás: Mike, K., 1991. Magyarország ősvízrajza és felszíni vizeinek története. Aqua, Budapest. 612. o.)*
- Mike, K. 1991., A Sajó-Hernád vízrendszer kialakulása és változása. In: Mike, K. *Magyarország ősvízrajza és felszíni vizeinek története.* Aqua, Budapest. pp 612-621.
- Miřijovský, J., Šulc Michalková, M., Petyniak, O., Máčka, Z., Trizna, M., 2015. Spatial-temporal evolution of the unique preserved meandering system in central Europe - The Morava River near Litovel. *Catena* 127, 300–311 DOI:10.1016/j.catena.2014.12.006
- Molnár, B., 1972. A Sajó-völgy általános leírása. In: *Vízrajzi Atlasz Sorozat 13. Sajó. 1. Hidrográfia, geomorfológia.* VITUKI, Budapest. pp. 4-8.
- Mondal, S., Patel, P.P., 2018. Examining the utility of river restoration approaches for flood mitigation and channel stability enhancement: a recent review. *Environ. Earth Sci.* 77, 195. DOI:10.1007/s12665-018-7381-y
- Morandi, B., Piégay, H., Lamouroux, N., Vaudor, L., 2014. How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects. *J. Environ. Manage.* 137, 178–188. DOI:10.1016/j.jenvman.2014.02.010
- Mueller, J.E., 1968. An introduction to the hydraulic and topographic sinuosity indexes. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 58, 371–385. DOI:10.1111/j.1467-8306.1968.tb00650.x
- Nagy, B., 2002. A felszínfejlődés késő-pleisztocén-holocén jellegzetességei a Sajó-Hernád hordalékkúpon. *Földtani Közöny* 132, 93-100.

- Nagy, B., Félegyházi, E., 2001. A Sajó-Hernád hordalékkúp későpleisztocén mederhálózatának vizsgálata. *Acta Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina* 35, 221-232.
- Nakamura, F., Yamada, H., 2005. Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan. *Ecol. Eng.* 24, 539–550. DOI:10.1016/j.ecoleng.2005.01.010
- Nakano, D., Nakamura, F., 2007. The significance of meandering channel morphology on the diversity and abundance of macroinvertebrates in a lowland river in Japan. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 18, 780–798. DOI:10.1002/aqc.885
- Negishi, J.N., Inoue, M., Nunokawa, M., 2002. Effects of channelisation on stream habitat in relation to a spate and flow refugia for macroinvertebrates in northern Japan. *Freshw. Biol.* 47, 1515–1529. DOI:10.1046/j.1365-2427.2002.00877.x
- Nex, F., Remondino, F., 2014. UAV for 3D mapping applications: a review. *Appl. Geomatics* 6, 1–15. DOI:10.1007/s12518-013-0120-x
- Németh, B., 1938. A Sajó folyó csatornázása és az Alföld öntözése. *Vízügyi Közlemények* 20, 388–393.
- Nicoll, T.J., Hickin, E.J., 2010. Planform geometry and channel migration of confined meandering rivers on the Canadian prairies. *Geomorphology* 116, 37–47. DOI:10.1016/j.geomorph.2009.10.005
- Nikolakopoulos, K.G., Soura, K., Koukouvelas, I.K., Argyropoulos, N.G., 2017. UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies. *J. Archaeol. Sci. Reports* 14, 758–773. DOI:10.1016/j.jasrep.2016.09.004
- Olasz, L., 1990. A magyar gazdaságpolitika változásainak hatása Leninváros ipar- és városfejlesztésére. Egyetemi szakdolgozat
- Ollero, A., 2010. Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology* 117, 247–260. DOI:10.1016/j.geomorph.2009.01.015
- Olson, P.O., Legg, N.T., Abbe, T.B., Reinhart, M.A., Radloff, J.K. 2014. A Methodology for Delineating Planning-Level Channel Migration Zones. Ecology Publication 14-06-025.
- OMFB, 1963. Belvízi hajózásunk egyes kérdései. I. A sajtóvíziút és az országos víziút kapcsolata. Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár – Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság iratai, XXXII. 12. 2. dob. 456/1963
- OVH, 1981 – A Sajó-Hernád térség vízgazdálkodás-fejlesztésének felülvizsgálata és értékelése, különös tekintettel a Sajó csatornára. Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár, XXXII. 15. c – OVH tanulmánytár, sz.: 4285
- Ondruch, J., Máčka, Z., 2015. Response of lateral channel dynamics of a lowland meandering river to engineering-derived adjustments - An example of the Morava River (Czech Republic). *Open Geosci.* 7, 588–605. DOI:10.1515/geo-2015-0047
- Oroszi, V., 2008. Egy árvíz okozta ártérfeltöltődés: a maros 2006. évi áradása által lerakott hullámtéri üledék vizsgálata. In: Kiss, T., Mezősi, G. (szerk.): *Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon*. Szeged, 73-83.

- Ortega, J.A., Razola, L., Garzón, G., 2014. Recent human impacts and change in dynamics and morphology of ephemeral rivers. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 713–730. DOI:10.5194/nhess-14-713-2014
- Palmer, M.A., Menninger, H.L., Bernhardt, E., 2010. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? *Freshw. Biol.* 55, 205–222. DOI:10.1111/j.1365-2427.2009.02372.x
- Palmer, M.A., Hondula, K.L., Koch, B.J., 2014. Ecological Restoration of Streams and Rivers: Shifting Strategies and Shifting Goals. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 45, 247–269. DOI:10.1146/annurev-ecolsys-120213-091935
- Palmer, J.A., Schilling, K.E., Isenhardt, T.M., Schultz, R.C., Tomer, M.D., 2014. Streambank erosion rates and loads within a single watershed: Bridging the gap between temporal and spatial scales. *Geomorphology* 209, 66–78. DOI:10.1016/j.geomorph.2013.11.027
- Parker, G., Andres, D., 1976. Detrimental effects of river channelization, in: *Proceedings of Conference Rivers '76*. American Society of Civil Engineers, pp. 1248–1266.
- Pasternack, G.B., 2013. Geomorphologist's Guide to Participating in River Rehabilitation, in: Shroder, J.F. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, pp. 843–860. DOI:10.1016/B978-0-12-374739-6.00268-2
- Peña-Angulo, D., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J.C., Albaladejo, J., Andreu, V., Bagarello, V., Barhi, H., Batalla, R.J., Bernal, S., Bienes, R., Campo, J., Campo-Bescós, M.A., Canatario-Duarte, A., Cantón, Y., Casali, J., Castillo, V., Cerdà, A., Cheggour, A., Cid, P., Cortesi, N., Desir, G., Díaz-Pereira, E., Espigares, T., Estrany, J., Fernández-Raga, M., Ferreira, C.S.S., Ferro, V., Gallart, F., Giménez, R., Gimeno, E., Gómez, J.A., Gómez-Gutiérrez, A., Gómez-Macpherson, H., González-Pelayo, O., Hueso-González, P., Kairis, O., Karatzas, G.P., Klotz, S., Kosmas, C., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Latron, J., Lázaro, R., Le Bissonnais, Y., Le Bouteiller, C., Licciardello, F., López-Tarazón, J.A., Lucía, A., Marín, C., Marqués, M.J., Martínez-Fernández, J., Martínez-Mena, M., Martínez-Murillo, J.F., Mateos, L., Mathys, N., Merino-Martín, L., Moreno-de las Heras, M., Moustakas, N., Nicolau, J.M., Novara, A., Pampalone, V., Raclot, D., Rodríguez-Blanco, M.L., Rodrigo-Comino, J., Romero-Díaz, A., Roose, E., Rubio, J.L., Ruiz-Sinoga, J.D., Schnabel, S., Senciales-González, J.M., Simonneaux, V., Solé-Benet, A., Taguas, E. V., Taboada-Castro, M.M., Taboada-Castro, M.T., Todisco, F., Úbeda, X., Varouchakis, E.A., Vericat, D., Wittenberg, L., Zabaleta, A., Zorn, M., 2019. Spatial variability of the relationships of runoff and sediment yield with weather types throughout the Mediterranean basin. *J. Hydrol.* 571, 390–405. DOI:10.1016/j.jhydrol.2019.01.059
- Phillips, J.D., 2002. Geomorphic impacts of flash flooding in a forested headwater basin. *J. Hydrol.* 269, 236–250. DOI:10.1016/S0022-1694(02)00280-9
- Phillips, J.D., Slattery, M.C., 2007. Downstream trends in discharge, slope, and stream power in a lower coastal plain river. *J. Hydrol.* 334, 290–303. DOI:10.1016/j.jhydrol.2006.10.018

- Pirkhoffer, E., Halmai, Á., Czigány, S., Bugya, T., Rábay, A., Bótkös, T., Nagy, G., Balassa, B., Jancsákné Anweiler, I., Lóczy, D., 2014. New opportunities for experiments in fluvial geomorphology: the flume PTETHYS. *Hungarian Geogr. Bull.* 63, 425–436. DOI:10.15201/hungeobull.63.4.4
- Piégay, H., Cuaz, M., Javelle, E., Mandier, P., 1998. Bank erosion management based on geomorphological, ecological and economic criteria on the Galaure River, France. *Regul. Rivers Res. Manag.* 13, 433–448. DOI:10.1002/(SICI)1099-1646(199709/10)13:5<433::AID-RR467>3.0.CO;2-L
- Piégay, H., Darby, S.E., Mosselman, E., Surian, N., 2005. A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion. *River Res. Appl.* 21, 773–789. DOI:10.1002/rra.881
- Pijl, A., Brauer, C.C., Sofia, G., Teuling, A.J., Tarolli, P., 2018. Hydrologic impacts of changing land use and climate in the Veneto lowlands of Italy. *Anthropocene* 22, 20–30. DOI:10.1016/j.ancene.2018.04.001
- Pinczés, Z., 1960. A tönkösödés kérdése a Zempléni-hegység déli részén. *Földrajzi Értesítő* 9, 453–477.
- Poepl, R.E., Parsons, A.J., 2017. The geomorphic cell: a basis for studying connectivity. *Earth Surf. Process. Landforms* 43, 1155–1159. DOI:10.1002/esp.4300
- Prajwal, M., Jain, R., Srinivasa, V., Karthik, K.S., 2016. Optimal Number of Ground Control Points for a UAV based Corridor Mapping. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.* 5, 28–32.
- Prodocimi, M., Calligaro, S., Sofia, G., Dalla Fontana, G., Tarolli, P., 2015. Bank erosion in agricultural drainage networks: new challenges from structure-from-motion photogrammetry for post-event analysis. *Earth Surf. Process. Landforms* 40, 1891–1906. DOI:10.1002/esp.3767
- Pyle, C.J., Richards, K.S., Chandler, J.H., 1997. Digital Photogrammetric Monitoring of River Bank Erosion. *Photogramm. Rec.* 15, 753–764.
- Rădoane, M., Perşoiu, I., Cristea, I., Chiriloaei, F., 2013. River channel planform changes based on successive cartographic data. A methodological approach. *Rev. Geomorfol.* 15, 69–88.
- Rahman, M.M., Islam M, N., 2018. Biodiversity Loss by Riverbank Erosion: A Study on the two Char Unions in Bangladesh. *J. Biodivers. Endanger. Species* 06, 1–6. DOI:10.4172/2332-2543.1000209
- Raparelli, E., Bajocco, S., 2019. A bibliometric analysis on the use of unmanned aerial vehicles in agricultural and forestry studies. *Int. J. Remote Sens.* 1–14. DOI:10.1080/01431161.2019.1569793
- Rác, M., 2014. 2.6. Sajó a Bódvával vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegység. *Jelentős Vízgazdálkodási Kérdések. Vitaanyag. Miskolc.*
- Rádai, Ö., 1995. River corridors in Hungary: a strategy for the conservation of the Danube and its tributaries (1993-94). *IUCN Report. Gland (Switzerland), Budapest (Hungary).*

- Rajkai, K., Tóth, G., 2010. Talajok. In: Dövényi, Z. (szerk.) Magyarország Kistájainak Katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. 875p.
- Ran, L., Wang, S., Fan, X., 2010. Channel change at Toudaoguai Station and its responses to the operation of upstream reservoirs in the upper Yellow River. *J. Geogr. Sci.* 20, 231–247. DOI:10.1007/s11442-010-0231-9
- R core team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Found. Stat. Comput. Vienna, Austria. DOI:http://www.R-project.org/
- Restás, Á., 2015. Drone Applications for Supporting Disaster Management. *World J. Eng. Technol.* 03, 316–321. DOI:10.4236/wjet.2015.33C047
- Restás, Á., 2018. Water Related Disaster Management Supported by Drone Applications. *World J. Eng. Technol.* 6, 116–126. DOI:10.4236/wjet.2018.62B010
- Revelle, W., 2018. psych: Procedures for Personality and Psychological Research. R Packag. DOI:10.1109/TEM.2010.2048913
- Rhoads, B.L., Welford, M.R., 1991. Initiation of river meandering. *Prog. Phys. Geogr.* 15, 127–156. DOI:10.1177/030913339101500201
- Rhoades, E.L., O’Neal, M.A., Pizzuto, J.E., 2009. Quantifying bank erosion on the South River from 1937 to 2005, and its importance in assessing Hg contamination. *Appl. Geogr.* 29, 125–134. DOI:10.1016/j.apgeog.2008.08.005
- Richardson, J.M., Fuller, I.C., 2010. Quantification of channel planform change on the lower Rangitikei River, New Zealand, 1949-2007: response to management? *Geosci. A Work. Pap. Ser. Phys. Geogr.* 2, 3–26.
- Robertson, K.M., 2005. Distributions of tree species along point bars of 10 rivers in the south-eastern US Coastal Plain. *J. Biogeogr.* 33, 121–132. DOI:10.1111/j.1365-2699.2005.01371.x
- Rodrigo-Comino, J., Senciales, J.M., Sillero-Medina, J.A., Gyasi-Agyei, Y., Ruiz-Sinoga, J.D., Ries, J.B., 2019. Analysis of Weather-Type-Induced Soil Erosion in Cultivated and Poorly Managed Abandoned Sloping Vineyards in the Axarquía Region (Málaga, Spain). *Air, Soil Water Res.* 12, 1178622119839403. DOI:10.1177/1178622119839403
- Rousseau, Y.Y., Van de Wiel, M.J., Biron, P.M., 2017. Simulating bank erosion over an extended natural sinuous river reach using a universal slope stability algorithm coupled with a morphodynamic model. *Geomorphology* 295, 690–704. DOI:10.1016/j.geomorph.2017.08.008
- Rusnák, M., Lehotský, M., 2014. Time-focused investigation of river channel morphological changes due to extreme floods. *Zeitschrift für Geomorphol.* 58, 251–266. DOI:10.1127/0372-8854/2013/0124
- Rusnák, M., Lehotský, M., Kidová, A., 2016. Channel migration inferred from aerial photographs, its timing and environmental consequences as responses to floods: A case study of the meandering Topl’a River, Slovak Carpathians. *Morav. Geogr. Reports* 24, 32–43. DOI:10.1515/mgr-2016-0015

- Rusnák, M., Sládek, J., Kidová, A., Lehotský, M., 2018. Template for high-resolution river landscape mapping using UAV technology. *Measurement* 115, 139–151. DOI:10.1016/j.measurement.2017.10.023
- Rusnák, M., Sládek, J., Pacina, J., Kidová, A., 2018. Monitoring of avulsion channel evolution and river morphology changes using UAV photogrammetry: Case study of the gravel bed Ondava River in Outer Western Carpathians. *Area*. DOI:10.1111/area.12508
- Sallai, F., 2006. A Sajó vízminősége, hosszú távú védelme. *Észak-magyarországi Strat. füzetek* 3, 3–16.
- Sandercock, P.J., Hooke, J.M., Mant, J.M., 2007. Vegetation in dryland river channels and its interaction with fluvial processes. *Prog. Phys. Geogr. Earth Environ.* 31, 107–129. DOI:10.1177/0309133307076106
- Sapkale, J.B., Kadam, Y.U., Jadhav, I.A., Kamble, S.S., 2016. River in Planform and Variation in Sinuosity Index: A Study of Dhamni River, Kolhapur (Maharashtra), India. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 7, 863–867.
- Sarkar, D., 2008. Lattice multivariate data visualization with R, Use R! Springer, New York. DOI:10.1007/978-0-387-75969-2
- Sarma, J.N., Borah, D., Goswami, U., 2007. Change of river channel and bank erosion of the burhi dihing river (assam), assessed using remote sensing data and gis. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 35, 93–100. DOI:10.1007/BF02991837
- Schweitzer, F., Nagy, I., Alföldi, L., 2002. Jelenkori övzátony (parti gát) képződés és hullámtéri lerakódás a Közép-Tisza térségében. *Földrajzi Értesítő* 51, 257–278.
- Schwendel, A.C., Nicholas, A.P., Aalto, R.E., Sambrook Smith, G.H., Buckley, S., 2015. Interaction between meander dynamics and floodplain heterogeneity in a large tropical sand-bed river: The Rio Beni, Bolivian Amazon. *Earth Surf. Process. Landforms* 40, 2026–2040. DOI:10.1002/esp.3777
- Schwendtner, I., Román, J., 1967. A Miskolci Állami Levéltár Borsod megyei levéltárának térképei. Levéltári jegyzékek 1/VIII. sz. Budapest.
- Schréter, Z., 1935. A Bükk-hegység triász képződményei. *Földtani Közlöny* 65, 90–105.
- Schréter, Z., 1952. Földtani vizsgálatok a Bükk-hegység déli részén. A MÁFI Évi jelentése az 1944. évről, 45–48.
- Seshan, V.E., n.d. clinfun: Clinical Trial Design and Data Analysis Functions. R Packag. DOI:version 1.0.15. <https://CRAN.R-project.org/package=clinfun>
- Shin, N., Nakamura, F., 2005. Effects of fluvial geomorphology on riparian tree species in Rekifune River, northern Japan. *Plant Ecol.* 178, 15–28. DOI:10.1007/s11258-004-2484-9
- Siklósi, S., 1941. A Sajó, Zagyva és Tarna 1940. évi árvizei. *Vízügyi Közlemények* 23, 138–147.
- Simon, A., Darby, S.E., 2002. Effectiveness of grade-control structures in reducing erosion along incised river channels: the case of Hotophia Creek, Mississippi. *Geomorphology* 42, 229–254. DOI:10.1016/S0169-555X(01)00088-5

- Słowik, M., 2015. Is history of rivers important in restoration projects? The example of human impact on a lowland river valley (the Odra River, Poland). *Geomorphology* 251, 50–63. DOI:10.1016/j.geomorph.2015.05.031
- Słowik, M., 2012. Changes of river bed pattern of a lowland river: effect of natural processes or anthropogenic intervention? *Geogr. Ann. Ser. A, Phys. Geogr.* 94, 301–320. DOI:10.1111/j.1468-0459.2011.00432.x
- Smith, M. W., Carrivick, J. L., Hooke, J., Kirkby, M. J., 2014. Reconstructing flash flood magnitudes using “Structure-fromMotion”: A rapid assessment tool, *J. Hydrol.* 519, 1914–1927. DOI:10.1016/j.jhydrol.2014.09.078
- Somogyi, S., 1961. Hazánk folyóhálózatának fejlődéstörténeti vázlat. *Földrajzi Közlemények* 9, 25–50.
- Steiger, J., Gurnell, A.M., 2002. Spatial hydrogeomorphological influences on sediment and nutrient deposition in riparian zones: observations from the Garonne R., France. *Geomorphology* 49, 1–23.
- Su, T., Wang, S., Mei, Y., Shao, W., 2015. Comparison of channel geometry changes in Inner Mongolian reach of the Yellow River before and after joint operation of large upstream reservoirs. *J. Geogr. Sci.* 25, 930–942. DOI:10.1007/s11442-015-1211-x
- Surian, N., 1999. Channel changes due to river regulation: The case of the Piave River, Italy. *Earth Surf. Process. Landforms* 24, 1135–1151. DOI:10.1002/(SICI)1096-9837(199911)24:12<1135::AID-ESP40>3.0.CO;2-F
- Szabó, G., Bertalan, L., Barkóczy, N., Kovács, Z., Burai, P., Lénárt, C., 2018. Zooming on Aerial Survey, in: Casagrande, G., Sik, A., Szabó, G. (Eds.), *Small Flying Drones: Applications for Geographic Observation*. Springer International Publishing, Cham, pp. 91–126. DOI:10.1007/978-3-319-66577-1_4
- Szabó, J., 1997. Magaspartok csuszamlásos lejtőfejlődése a Hernád-völgyben. *Földrajzi Közlemények* 45, 17–46.
- Szabó, J., 1999. Landslide activity and land utilisation at the high river bank zones, in: Griffiths, J.S., Stokes, M.R., Thomas, R.G. (Eds.), *Landslides*. AA Balkema Publishers, Rotterdam, Broekfield, pp. 147–154.
- Szaló, P., Bálint, K., Barkóczy, Z., Bedő, K., Gerzánics, A., Halász, L., Horváth, B., Juhász, G., 2011. Építésügyi feladatok a 2010 évi katasztrófák után Borsod-Abaúj-Zemplén megyében és Devecser térségében. *Területi Stat.* 51, 121–147.
- Szabó, S., Bertalan, L., Kerekes, Á., Novák, T.J., 2015. Possibilities of land use change analysis in a mountainous rural area: a methodological approach. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 30, 708–726. DOI:10.1080/13658816.2015.1092546
- Szabó, Z., Tóth, C.A., Tomor, T., Szabó, S., 2017. Airborne LiDAR point cloud in mapping of fluvial forms: a case study of a Hungarian floodplain. *GIScience Remote Sens.* 54, 862–880. DOI:10.1080/15481603.2017.1339987
- Szalai, Z., Balogh, J., Jakab, G., 2013. Riverbank erosion in Hungary—with an outlook on environmental consequences. *Hungarian Geogr. Bull.* 62, 233–245.
- Szlabóczky, P. 2002. A kavicsbányászat geológiai feltételei, különös tekintettel a környezet- és természetvédelmi kérdésekre. In: Baráti, S. (szerk.) *A*

- kavicsbányászat és a kavicsbányatavak környezet- és természetvédelmi problémái. Ökotárs Alapítvány, Miskolc. pp. 5-35
- Szép, T., 2000. Partifecske (*Riparia riparia*), in: Haraszthy, L. (Ed.), *Birds of Hungary*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Szép, T., Møller, A.P., 1999. Cost of parasitism and host immune defence in the sand martin *Riparia riparia*: a role for parent-offspring conflict? *Oecologia* 119, 9–15. DOI:10.1007/s004420050755
- Szép, T., Nagy, K., Nagy, Z., Halmos, G., 2012. Population trends of common breeding and wintering birds in Hungary, decline of long-distance migrant and farmland birds during 1999–2012. *Ornis Hungarica* 20, 13–63. DOI:10.2478/orhu-2013-0007
- Szigyártó, Z., 1991. A FOK-gazdálkodás és az ármentesítés. *Öko* 2, 15-21.
- Szilágyi, J.E., 2010. Megjegyzések a vízgazdálkodási társulatok szabályozásának fejlődéséhez és új szabályozásához. *Sectio Juridica et Politica*, Miskolc, Tomus XXVIII, 491-502.
- Sylvester, Z., Durkin, P., Covault, J.A., 2019. High curvatures drive river meandering. *Geology* 47, 263–266. DOI:10.1130/G45608.1
- Ta, W., Jia, X., Wang, H., 2013. Channel deposition induced by bank erosion in response to decreased flows in the sand-banked reach of the upstream Yellow River. *Catena* 105, 62–68. DOI:10.1016/j.catena.2013.01.007
- Tamás, E., Kalocsa, B. 2002. Hozzászólás a fokokról szóló cikksorozathoz. *Hidrológiai Közlöny* 82, 242-244.
- Tamminga, A. D., Eaton, B. C., and Hugenholtz, C. H., 2015. UAS-based remote sensing of fluvial change following an extreme wood event, *Earth Surf. Proc. Land*. 40, 1464–1476. DOI:10.1002/esp.3728
- Tavy, L., 1941. A kisebb folyók 1940. évi tavaszi árvizeinek tanulságai. *Vízügyi Közlemények* 23, 158–165.
- Thorne, C., Hey, R.D., Newson, M.D. (Eds.), 1998. *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, 1st ed. Wiley.
- Timár, G., 2003. Controls on channel sinuosity changes: a case study of the Tisza River, the Great Hungarian Plain. *Quat. Sci. Rev.* 22, 2199–2207
- Timár, G., 2005. Az alluviális folyók alaktípusai és a típusok kialakulásának feltételei. *Irodalmi áttekintés és gyakorlati következtetések*. *Hidrológiai Közlöny* 85, 1–10.
- Timár, G., Sümegi, P., Horváth, F., 2005. Late Quaternary dynamics of the Tisza River: Evidence of climatic and tectonic controls. *Tectonophysics* 410, 97–110. DOI:10.1016/j.tecto.2005.06.010
- Tonkin, N.T., Midgley, G.N., 2016. Ground-Control Networks for Image Based Surface Reconstruction: An Investigation of Optimum Survey Designs Using UAV Derived Imagery and Structure-from-Motion Photogrammetry. *Remote Sens.* 8, paper 786. DOI:10.3390/rs8090786
- Tosic, R., Lovric, N., Dragičević, S., 2014. Land use changes caused by bank erosion along the lower part of the Bosna river from 2001 to 2013. *Glas. Srp. Geogr. Drus.* (Bulletin Serbian Geogr. Soc. 94, 49–58. DOI:10.2298/GSGD1404049T

- Turner, D., Lucieer, A., Watson, C., 2012. An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Remote Sens.* 4, 1392-1410. DOI:10.3390/rs4051392
- Uysal, M., Toprak, A.S., Polat, N., 2015. DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. *Measurement* 73, 539–543. DOI:10.1016/j.measurement.2015.06.010
- Vadász, E., 1960. Magyarország Földtana. Akadémiai Kiadó Budapest.
- Várnainé Pongrácz, M., 1984. Beavatkozások a Tisza vízrendszeréhez tartozó folyóink külföldi vízgyűjtőjén. *Vízügyi Közlemények* 66, 635–653.
- Vitális, S., 1952. Vízbeszerzési lehetőségek a Sajó vízgyűjtőjében. *Hidrológiai Közlöny* 32, 324–335.
- Vitéz, G.M., Dobos, A., Varga, J., 2006. Sajólád természeti értékei. *Acta Acad. Paedagog. Agriensis, Nov. Ser. Sect. Biol.* 33, 91–102.
- VITUKI, 1955. Magyarország Hidrológiai Atlasza I. 2. A Sajó. Budapest.
- VIZITERV, 1958. Sajó ármentesítése: Hidrológiai tanulmány. *Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár – VIZITERV Tervtár, XXXII. 2. o., 251. dob.: 11.486*
- VIZITERV, 1959 – A Sajó-völgy rendezése. *VIZITERV Tervtár, Tervszám: 11612/1959.*
- VIZITERV, 1960. A Sajó-völgy rendezése Miskolc-országhatár között. *Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár – VIZITERV Tervtár, XXXII. 2. o., 677. dob. 11.612*
- VIZITERV, 1960a – Sajó regionális terv. *Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár – VIZITERV Tervtár, XXXII. 2. o., 391. dob. 12.201*
- VIZITERV, 1960b – Sajó regionális terv, R-435. irat: Viziutak, folyócsatornázás. *Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár – VIZITERV Tervtár, XXXII. 2. o., 971. dob. 14.083*
- VIZITERV, 1961 – Borsodi Művek ércellátása viziúton. *Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár – VIZITERV Tervtár, XXXII. 2. o., 540. dob. 12.926*
- VIZITERV, 1967 – A Sajó csatorna tanulmánytervének korszerűsítése. *Környezetvédelmi és Vízügyi Levéltár – VIZITERV Tervtár, XXXII. 2. o. 1592. dob. 15.537*
- VIZITERV, 1973 – Sajó csatorna torkolati szakasz nyomvonal áthelyezés. *Környezet-védelmi és Vízügyi Levéltár – VIZITERV Tervtár, XXXII. 2. o. 3032. dob. 18.659*
- Vizslán, T.; Szentgyörgyi, P. 1992. A Sajó-Hernád sík és a Sajó-völgy gerinces faunájáról. *Fol. Hist.-Nat. Mus. Matr.* 17, 199–208.
- Wang, S., Li, L., Cheng, W., 2014. Variations of bank shift rates along the Yinchuan Plain reach of the Yellow River and their influencing factors. *J. Geogr. Sci.* 24, 703–716. DOI:10.1007/s11442-014-1114-2
- Wang, S., Li, L., Ran, L., Yan, Y., 2016. Spatial and temporal variations of channel lateral migration rates in the Inner Mongolian reach of the upper Yellow River. *Environ. Earth Sci.* 75, 1255. DOI:10.1007/s12665-016-6069-4
- Ward, J. V, Tockner, K., Arscott, D.B., Claret, C., 2002. Riverine landscape diversity. *Freshw. Biol.* 47, 517–539. DOI:10.1046/j.1365-2427.2002.00893.x

- Wekerle, T., Bezerra Pessoa Filho, J., Eduardo Vergueiro Loures da Costa, L., Gonzaga Trabasso, L., 2017. Status and Trends of Smallsats and Their Launch Vehicles—An Up-to-Date Review. *J. Aerosp. Technol. Manag.* 9, 269–286.
- Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M., 2012. “Structure-from-Motion” photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179, 300–314. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.08.021
- Wickham, H., 2009. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. *Elegant Graph. Data Anal.* DOI:10.1007/978-0-387-98141-3
- Williams, B.S., D’Amico, E., Kastens, J.H., Thorp, J.H., Flotemersch, J.E., Thoms, M.C., 2013. Automated riverine landscape characterization: GIS-based tools for watershed-scale research, assessment, and management. *Environ. Monit. Assess.* 185, 7485–7499. DOI:10.1007/s10661-013-3114-6
- Wintenberger, C.L., Rodrigues, S., Bréhéret, J.G., Villar, M., 2015. Fluvial islands: First stage of development from nonmigrating (forced) bars and woody-vegetation interactions. *Geomorphology* 246, 305–320. DOI:10.1016/j.geomorph.2015.06.026
- Winterbottom, S.J., 2000. Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. *Geomorphology* 34, 195–208. DOI:10.1016/S0169-555X(00)00007-6
- Wohl, E., 2018. Rivers in the Anthropocene: The U.S. perspective. *Geomorphology* (In press). DOI:10.1016/j.geomorph.2018.12.001
- Wolman, M.G., Brush, L.M., 1961. Factors controlling the size and shape of stream channels in coarse nonkohézív sands (No. 282 G), United States Geological Survey Professional Paper. Washington D.C.
- Woodget, A. S., Carbonneau, P. E., Visser, F., Maddock, I.P., 2015. Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surf. Proc. Land.* 40, 47–64. DOI:10.1002/esp.3613
- Wyźga, B., Zawiejska, J., Radecki-Pawlik, A., 2016. Impact of channel incision on the hydraulics of flood flows: Examples from Polish Carpathian rivers. *Geomorphology* 272, 10–20. DOI:10.1016/j.geomorph.2015.05.017
- Xia, J., Li, X., Li, T., Zhang, X., Zong, Q., 2014. Response of reach-scale bankfull channel geometry to the altered flow and sediment regime in the lower Yellow River. *Geomorphology* 213, 255–265. DOI:10.1016/j.geomorph.2014.01.017
- Yao, Z., Xiao, J., Ta, W., Jia, X., 2013. Planform channel dynamics along the Ningxia-Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008: Analysis using Landsat images and topographic maps. *Environ. Earth Sci.* 70, 97–106. DOI:10.1007/s12665-012-2106-0
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H.R., Zakizadeh, H.R., Tabibian, S., 2018. Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). *Geomorphology* 304, 30–39. DOI:10.1016/j.geomorph.2017.12.034
- Yousefi, S., Moradi, H.R., Pourghasemi, H.R., Khatami, R., 2017. Assessment of Floodplain Landuse and Channel Morphology within Meandering Reach of the

- Talar River in Iran Using GIS and Aerial Photographs. *Geocarto Int.* DOI:10.1080/10106049.2017.1353645
- Yousefi, S., Moradi, H.R., Telvari, A., Vafakhah, M., 2015. Monitoring of fluvial systems using RS and GIS (Case study: Talar River, Iran). *J. Selçuk Univ. Nat. Appl. Sci.* 4, 60–72.
- Yousefi, S., Pourghasemi, H.R., Hooke, J., Navratil, O., Kidová, A., 2016. Changes in morphometric meander parameters identified on the Karoon River, Iran, using remote sensing data. *Geomorphology* 271, 55–64. DOI:10.1016/j.geomorph.2016.07.034
- Yu, D., Liu, Y., Xun, B., Shao, H., 2013. Measuring Landscape Connectivity in a Urban Area for Biological Conservation. *CLEAN – Soil, Air, Water* 43, 605–613. DOI:10.1002/clen.201200448
- Zámolyi, A., Székely, B., Draganits, E., Timár, G. 2010. Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain. *Geomorphology* 122, 231–243. DOI:10.1016/j.geomorph.2009.06.028
- Zawiejska, J., Wyzga, B., 2010. Twentieth-century channel change on the Dunajec River, southern Poland: Patterns, causes and controls. *Geomorphology* 117, 234–246. DOI:10.1016/j.geomorph.2009.01.014
- Zeng, Q., Shi, L., Wen, L., Chen, J., Duo, H., Lei, G., 2015. Gravel Bars Can Be Critical for Biodiversity Conservation: A Case Study on Scaly-Sided Merganser in South China. *PLoS One* 10, e0127387. DOI:10.1371/journal.pone.0127387
- Zhao, Y., Marriott, S., Rogers, J., Iwugo, K., 1999. A preliminary study of heavy metal distribution on the floodplain of the River Severn, UK by a single flood event. *Science of the Total Environment* 243–244, 219–231.
- Ziliani, L., Surian, N., 2012. Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river. *Geomorphology* 173–174, 104–117. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.06.001

Internetes hivatkozások

- [1] Belügyminisztérium Vízügyi Főigazgatóság (2012): Előzetes Kockázatbecslés Országjelentése.100p.
<http://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=1&id=826>
- [2] Központi Statisztikai Hivatal Miskolci Kirendeltség (2011): A 2010. évi árvíz Borsod-Abaúj-Zemplén megyében. 31p.
<http://mek.oszk.hu/11100/11170/11170.pdf>
- [3] <http://www.ftf.bfkh.gov.hu/portal/index.php/termekeink/legifelvelek>

Ábrák jegyzéke

1. ábra: Sajó hazai szakasza, még most is működő vízmércék	17
2. ábra: Kéregszerkezeti erők a Sajó-medencében és a Csereháton (Mike 1972 nyomán) ..	20
3. ábra: A Sajó vízhalózata a főbb földtörténeti időszakokban: A) pliocén; B) pleisztocén; C) holocén (Forrás: Mike 1972, 1991 nyomán módosítva)	21
4. ábra: A Sajó-Hernád-hordalékkúp kiterjedése és a kavicsos rétegek összvastagsága méterben (Franyó 1966 nyomán)	22
5. ábra: A Sajó-csatorna első terveinek átnézeti helyszínrajza (Kákóczki 2016. nyomán) ..	24
6. ábra: A Sajó hazai szakaszára vonatkozó vízrajzi adatok elérhetősége	33
7. ábra: A Q_{max} értékek évenkénti alakulása a Sajó jelenleg is üzemelő vízmércéin	33
8. ábra: Az évi legkisebb vízállások (LKV) időbeli változásai a Sajó-menti vízmércéken ..	35
9. ábra: A vizsgálat során számított horizontális medermorfometriai mutatók	37
10. ábra: A kanyarulatok görbületi sugarának automatizált meghatározásához használt Python-script működési vázlata	39
11. ábra: A laterális mederelmozdulás és az meder által kifejtett eróziós/akkumuláció mértékének számszerűsítése céljából alkalmazott módszerek	40
12. ábra: Az UAV-alapú parterrózió-monitoring helyszínei	41
13. ábra: A parterrózió-monitoring során alkalmazott pilóta nélküli légitűzvegek	42
14. ábra: A parterrózió mértékének meghatározása során alkalmazott módszer vázlata.....	43
15. ábra: A talajmintavételi pontok elhelyezkedése az UAV-monitoring mintaterületein... 44	44
16. ábra: A mintaterület áttekintő térképe	46
17. ábra: A vizsgált terület és a különböző felszínborítás kategóriák áttekintése légifelvételen. 1 – Erdők és bokrok, 2 – Gyepterületek, 3 – Szántóföldi parcellák, 4 – Csupasz zátonyfelszínek, 5 – középvízi folyómeder. A – Ferde-tengelyű UAV-légifelvétel (készítette: Bertalan László, 2017. június 11), B – Fekete-fehér archív katonai légifotó-kivágat (1975), C – UAV-ortofotó (2017)	48
18. ábra: A hidro-geomorfológiai folyamatok mentén végbemenő szukcessziós pálya (Forrás: Corenblit et al. 2007)	49
19. ábra: Az elemzés során lehatárolt rész-szakaszok a Sajó mentén	54
20. ábra: Partfalak az R1 rész-szakasz mentén (Sajópüspöki: 122,6 fkm - összetett; valamint Sajópüspöki: 122,3 fkm - kohézív)	56
21. ábra: Partfalak az R2 és R3 rész-szakaszok mentén (Sajónémeti: 116,2 fkm - kohézív; valamint Sajóvelezd: 112,6 fkm - kohézív)	56
22. ábra: Partfalak az R4 és R5 rész-szakaszok mentén (Vadna: 102,7 fkm - összetett; valamint Sajókaza: 93,6 fkm - kohézív).....	57
23. ábra: Partfalak az R5 rész-szakasz mentén (Kazincbarcika: 90,9 fkm - kohézív; valamint Kazincbarcika: 93,7 fkm - kohézív).....	57
24. ábra: Partfalak az R6 és R7 rész-szakaszok mentén (Vadna: 102,7 fkm - összetett; valamint Sajókaza: 93,6 fkm - kohézív).....	58
25. ábra: Partfalak az R8 rész-szakasz mentén (Sajópetri: 39,8 fkm – összetett; valamint Sajólád: 38,2 fkm – nem kohézív)	59
26. ábra: Partfalak az R9 rész-szakasz mentén (Ónod: 33,1 fkm - nem kohézív; valamint Ónod: 32,2 fkm - nem kohézív)	59
27. ábra: Partfalak az R10 rész-szakasz mentén (Nagycsécs: 27,9 fkm - összetett; valamint Nagycsécs: 27,1 fkm - nem kohézív).....	60
28. ábra: Partfalak az R11 és R12 rész-szakaszok mentén (Kiscsécs: 19,3 fkm – összetett; valamint Sajóörös: 16,9 fkm - összetett).....	60
29. ábra: Horizontális medermorfometriai mutatók és a meder-esés térbeli változékonysága a Sajó hossz-szelvénye mentén (A félkövérrel szedett számok a rész-szakaszok sorszámát,	

míg a zöld sávok a "Természetes" és „Enyhén módosított” rész-szakaszok kiterjedését jelölik).....	61
30. ábra: Antropogén jellegű hatótényezők és a kanyargóssági index térbeli változékonysága a Sajó hossz-szelvénye mentén (A félkövérrel szedett számok a rész-szakaszok sorszámát, míg a zöld sávok a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszok kiterjedését jelölik).....	62
31. ábra: Az egyes medermorfometriai paraméterek, a parterózió, a laterális mederelmozdulás és a hidrológiai adatok közötti korrelációk mértéke és a kapcsolat szorossága.....	63
32. ábra: Horizontális medermorfometriai mutatók időbeli változékonysága. (a) teljes ívhossz; (b) átlagos húrhossz	64
33. ábra: Horizontális medermorfometriai mutatók időbeli változékonysága. (c) átlagos amplitúdó; (d) kanyargóssági index.....	66
34. ábra: Az átlagos görbületi sugár (szélességgel normalizált) változásai a vizsgált időszakokban a „Természetes” és „Enyhén módosított” típusú rész-szakaszok mentén ..	69
35. ábra: A Sajó lehatárolt rész-szakaszai mentén végment természetes parterózió által érintett területek kiterjedése a vizsgált időszakokban	73
36. ábra: A Sajó lehatárolt rész-szakaszai mentén végment természetes parterózió által érintett területek teljes kiterjedése (1952-2011).....	74
37. ábra: A Sajó természetes és antropogén jellegű rész-szakaszai közötti statisztikai különbségeket feltáró biplot diagram. A diagramon zöld pontok jelölik a természetes, míg fekete négyzetek az antropogén rész-szakaszokat, a címkék az egyes rész-szakaszok sorszámairól, míg a vörös nyilak a változók súlyának irányvektorairól tájékoztatnak.	75
38. ábra: Parterózió intenzitása a kazincbarcikai mintaterület négy kanyarulata mentén	76
39. ábra: Kumulált parterózió eloszlása a kazincbarcikai mintaterület kanyarulatai mentén	77
40. ábra: Parterózió intenzitása a sajószentpéteri mintaterület két kanyarulata mentén	78
41. ábra: Kumulált parterózió eloszlása a sajószentpéteri mintaterület kanyarulatai mentén	79
42. ábra: A sajószentpéteri mintaterület mentén azonosított parteróziós esemény	80
43. ábra: Parterózió intenzitása az ónodi mintaterület kanyarulata mentén	81
44. ábra: Kumulált parterózió eloszlása az ónodi és nagycsécsi mintaterületek kanyarulatai mentén	81
45. ábra: Parterózió intenzitása a nagycsécsi mintaterület kanyarulatai mentén	83
46. ábra: A kanyarulatok mentén mért kumulált parterózió (A) valamint a kanyarulatok külső ívén mért laterális elmozdulás (B) eloszlásai a vizsgált mintaterületeken	84
47. ábra: A partfalak szemcseösszetételi diagramja a kazincbarcikai kanyarulatok mentén	85
48. ábra: A partfalak szemcseösszetételi diagramja a sajószentpéteri ill. ónodi kanyarulatok mentén	86
49. ábra: A partfalak szemcseösszetételi diagramja az első nagycsécsi kanyarulat mentén	87
50. ábra: A partfalak szemcseösszetételi diagramja a nagycsécsi első (N1), második (N2), ill. harmadik (G) kanyarulatok mentén	88
51. ábra: A vizsgált terület felszínborítás-változása	89
52. ábra: (A) A vizsgált időszak során mért normalizált erózió/akkréciós ráták idősorai; (B) A vizsgált időszak során mért átlagos meder-elmozdulás idősorai.....	90
53. ábra: A kanyarulatfejlődési paraméterek időbeli változásai. (A) húrhossz; (B) amplitúdó; (C) szélességgel normalizált görbületi sugár	91
54. ábra: Az átlagos mederszélesség változása a vizsgált három kanyarulat mentén	92
55. ábra: A felszínborítási kategóriák terület-változásai a vizsgált időszakban.....	92

56. ábra: A Sajó-meder kanyargóssága, mint független tényező a vizsgált terület felszínborításának és tájdiverzitásának megváltozásában. (A) A kanyargósság [SI] és az erdőterületek folttípusának [CA_F] kapcsolata; (B) A kanyargósság [SI] és a Shannon-féle diverzitási index [SHDI] értékei közötti kapcsolat	94
57. ábra: A mederfejlődési és tájmetriai indexek értékei alapján készült főkomponens-elemzés biplot diagramja (a szaggatott vonallal jelzett változók jelölik a kísérletbe bevont változókat)	95
58. ábra: A kanyarulatfejlődés térbeli és időbeli kiterjedései a Sajó „Természetes” (R3) és „Enyhén módosított” (R5, R7) rész-szakaszai mentén	98
59. ábra: Egyszerű kanyarulatfejlődési típusok meanderező folyók mentén (Hooke és Harvey 1983 nyomán)	98
60. ábra: A kanyarulatfejlődés térbeli és időbeli kiterjedései a Sajó „Enyhén módosított” (R9, R10) rész-szakaszai mentén	99
61. ábra: A parterózió intenzitása (ha/év/fkm) és a különböző visszatérési idejű vízhozamok tartóssága (%) a vizsgált időszakokban a 12 meghatározott rész-szakasz mentén.....	101
62. ábra: Kumulált parteróziós görbék a Sajó hazai szakaszának hossz-szelvénye mentén a vizsgált időszakokban	103
63. ábra: A partelmozdulás és a partok aljában mért átlagos homoktartalom kapcsolata ..	104
64. ábra: A partfal szerkezete a nagycsécsi N2 fúrás minta környezetében (Fotó: 2019.03.27)	105
65. ábra: A vízjárás és vízhozam alakulása a sajószentpéteri vízmércén az UAV-lerepülések két időpontja között.....	106
66. ábra: Az ártér szerkezete meanderező folyók esetén (Charlton 2008. nyomán)	106
67. ábra: Madár-fészkek a partfalban a vizsgált terület 2. kanyarulata mentén. A – A fészkek elhelyezkedésének áttekintése; B – Néhány példa a fészkek helyzetéről a leomló partfal-tömbök mentén; C – A vörös körök jelzik a mozaikon azonosított fészkeket	113

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: A Sajó részvízgyűjtőinek területi megoszlása és elhelyezkedése (VITUKI 1955; Csoma 1972 nyomán)	18
2. táblázat: A Sajó mellékfolyóinak részletes adatai (Molnár 1972 nyomán)	18
3. táblázat: A vizsgálat során felhasznált légifotók és térképek adatai	31
4. táblázat: A mederformáló vízhozamot meghaladó időszakok eloszlása	34
5. táblázat: A részzszakaszok lehatárolása során figyelembe vett tényezők.....	36
6. táblázat: Terepi mérések időpontjai a mintaterületeken	42
7. táblázat: A vizsgálatához felhasznált légifotók és térképek jellemzői.....	47
8. táblázat: A statisztikai elemzésbe bevont morfológiai paraméterek	52
9. táblázat: A vizsgálat során lehatárolt rész-szakaszok és azok jellemzői az egyes befolyásoló tényezők esetén.....	55
10. táblázat: A természeti és antropogén hatások alapján osztályozott rész-szakaszok kategóriái	60
11. táblázat: A Sajó menti meanderek teljes hossza a vizsgált időszakokban (a szürke sávok a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszokat jelölik)	67
12. táblázat: A Sajó kanyarulatainak megoszlása a különböző fejlettségi kategóriákban ...	68
13. táblázat: Az átlagos laterális mederelmozdulás értékei, valamint az elmozdulások irányai a vizsgált időszakokban	71
14. táblázat: A Sajó hazai szakaszán végment erózió/akkréció által érintett területek kiterjedése a vizsgált időszakokban	72
15. táblázat: A Sajó-menti kanyarulat-átvágások által érintett új mederszakaszok kiterjedései a vizsgált időszakokban (a szürke sávok a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszokat jelölik).....	74
16. táblázat: A Sajó rész-szakaszai közötti különbségek a morfológiai változók Mann-Whitney-tesztje alapján (félkövér: $p < 0,05$; dőlt: legalább közepes hatás).....	76
17. táblázat: Az egyes felszínborítási kategóriák konverziós mátrixa (az átalakulások százalékában) a vizsgált időszakban	93
18. táblázat: A madártani felmérés során vizuális és hang alapján azonosított fajok listája rendszertani sorrendben	112

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek, Dr. Szabó Gergelynek, hogy annak idején „összehozott” a Sajóval. Talán ha nincsenek azok a bizonyos bárányok és légifotók, akkor nem biztos, hogy megszületett volna valaha ez a dolgozat. Hálás vagyok továbbá a közös terepi mérésekért és a módszertani segítségeiért!

Köszönöm Prof. Dr. Szabó Szilárdnak, hogy annak idején a tudományos pályára alkalmasnak ítélte, majd sikeresen „megfertőzött” a kutatói gondolkodásmóddal és munkamorállal. Hálás vagyok a lehetőségért, hogy állást biztosított a Tanszéken. Köszönöm, hogy statisztika és „impaktos cikkek” ügyében is bármikor fordulhattam hozzá.

Köszönöm Prof. Dr. Szabó Józsefnek az inspiráló szakmai beszélgetéseket és az őszinte kritikákat a disszertációmmal kapcsolatban. Rengeteget tanultam a közös terepi kiszállásunk során felvázolt észrevételeiből.

Köszönöm Prof. Dr. Lóki Józsefnek, hogy annak idején felhívta a figyelmemet arra, hogy a folyóvízes labor témakör nem lesz elegendő a doktori fokozathoz, ezért új témába kellett kezdenem, melyben sikerült hatékonyabban elmélyülnöm. Hálás vagyok továbbá, hogy az utolsó hónapokban rendszeresen megsürgette a dolgozatírást.

Köszönöm Dr. Suba János térképtárvezető alezredesnek, valamint Magyar Honvédség Hadtörténeti Intézet és Múzeum, Hadtörténeti Térképtár munkatársainak, hogy annak idején készségesen fogadták a közel 1000 darabos archív légifotó-igénylésemet.

Hálásan köszönöm az ÉMVIZIG részéről Kiss Péternek, Tóthné Seres Évának és Kovács Viktornak, hogy a kutatásaim kezdete óta rendelkezéseimre bocsátották a Sajó hazai szakaszára vonatkozó adatokat és figyelemmel kísérték az előzetes eredményeimet. Remélem a disszertációban bemutatott eredményeim ténylegesen hasznára válnak majd az Igazgatóság munkájának.

A Sajó korábbi mederrendezéseit taglaló fejezet ilyen részletességgel nem készülhetett volna el Dr. Kákóczki Balázs történész kollegám kiváló könyve nélkül.

Köszönettel tartozom a Földrajz BSc. geoinformatikai szakirányos terepgyakorlaton részt vevő hallgatók áldozatos munkájáért, nélkülük sokkal tovább tartott volna a talajminták begyűjtése és előfeldolgozása.

Köszönöm Tóth Csillának és Sósne Mező Krisztinának a talajminták laboratóriumi feldolgozásában nyújtott segítségüket.

Köszönöm Dr. Szalai Zoltánnak, hogy az ELTE TTK laborjában megismertette velem a lézerdiffrakciós szemcseanalízis elvét és gyakorlati praktikáit, Dr. Prokisch Józsefnek, hogy lehetővé tette a Malvern MasterSizer készülék használatát, tovább Dr. Sztrik Attilának a mérési módszerek elsajátításában nyújtott segítségét.

Köszönet illeti Dr. Németh Zoltánt és Dr. Novák Tibor Józsefet a Sajó menti madártani és növényntani felmérések leírásáért, valamint Kovács Zoltánt a görbületi sugarak kiszámítását segítő szripkt kidolgozásában nyújtott segítségéért.

Köszönettel tartozom az ösztöndíjas utazásaim során megismert kollégáimnak (Dr. Jesús Rodrigo Comino – Spanyolország; Dr. František Kuda és Dr. Monika Šulc

Michalková – Csehország; Dr. Kory Konsoer – USA). Rengeteget tanultam tőlük a kutatási módszerek és a publikációk színvonalát illetően. Óriási megtiszteltetésnek tartom, hogy közös szócikket publikálhattam olyan kiváló szaktekintélyekkel, mint Prof. Dr. Nicola Surian (Olaszország) és Prof. Dr. Janet Hooke – Egyesült Királyság.

Szeretném megköszönni a barátaimnak, hogy elvisélték a tényt, hogy a dolgozatírás közben akár hosszabb időre is eltűntem, valamint, hogy folyamatosan érdeklődtek a dolgozat előrehaladásával kapcsolatban. Külön köszönet illeti Dr. Incze József barátomat biztatásáért s olykor határozott és hasznos letolásaiért velem szemben.

Köszönettel tartozom Béres Ritának a rengeteg támogatásért és az egyik legnagyobb ellenségem leküzdéséért.

Szeretném megköszönni szüleimnek és nagymamámnak azt a szerető és támogató családi háttérrel és sok-sok türelmet, amit a tanulmányaim során biztosítottak nekem, s amely nélkül ez az egész nem sikerült volna.

Nehéz szavakba foglalni azt a hálát és szeretetet, ami feleségemet, Bogit és kislányomat, Lilit illeti. Köszönöm, hogy az olyan gyakran előforduló nehéz időszakokban sem fordultak el tőlem és akkor is hittek bennem, amikor én már rég feladtam volna. Köszönöm azt a sok huncut mosolyt, amiért érdemes volt befejezni!

„Together, you can beat everybody!”

A kutatásaim utolsó fázisaiban kidolgozott eredményeim az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készültek. A kutatásaimhoz szükséges nagyteljesítményű számítógépek és pilóta nélküli légi jármű beszerzése az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett „Egyedi fejlesztést biztosító ösztöndíjak” című pályázaton elnyert NTP-EFÖ-P-15 valamint NTP-NFTÖ-18 jelű „Nemzet Fiatal Tehetségeiért Ösztöndíj” támogatásával valósulhatott meg.

A kutatásaim, szakmai kapcsolataim és publikációim nem jöhettek volna létre az alábbi mobilitási ösztöndíjak támogatása nélkül: Campus Hungary szakmai gyakorlat, egyéni és csoportos rövid tanulmányutak, Campus Mundi rövid tanulmányutak, CEEPUS hallgatói és oktatói mobilitások, Erasmus+ Nemzetközi Kreditmobilitás.

A vizsgálataim további elemeit az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. Eredményeim publikálását a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatta (szerződés száma: 108755).

Mellékletek

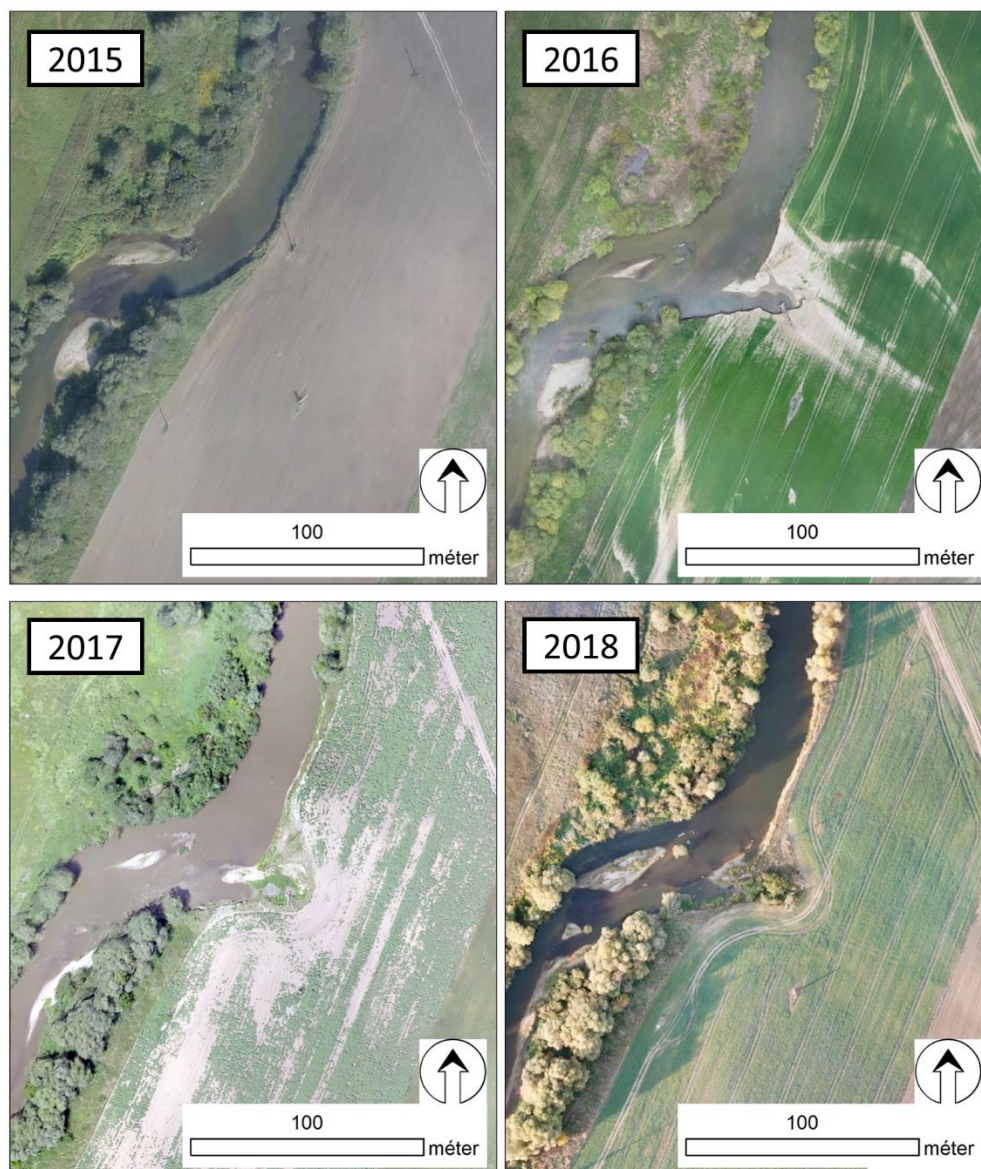
1. A Sajó menti kanyarulatok teljes hossza a vizsgált időszakokban a különböző fejlettségi kategóriák szerint (a szürke sávok a „Természetes” és „Enyhén módosított” rész-szakaszokat jelölik)

b)	total length of bends (km) [1,5 > SI > 1,25]								
	1952	1956	1975	1980	1988	2000	2005	2011	Total
R1	0,61	1,09	1,92	1,26	1,63	1,65	3,72	1,67	1,06
R2	0,78	1,07	0,90	0,46	0,38	0,39	0,39	0,35	-0,43
R3	0,57	0,53	0,41	0,15	0,48	0,54	0,44	0,90	0,33
R4	2,92	1,89	1,02	1,47	1,53	1,45	1,64	0,61	-2,31
R5	3,01	1,87	2,80	3,68	2,93	2,34	2,54	2,92	-0,09
R6	3,97	3,15	3,32	2,81	2,74	2,09	2,11	2,27	-1,70
R7	1,15	0,96	1,21	1,56	2,29	0,56	1,77	1,11	-0,04
R8	13,04	10,13	10,31	11,88	7,82	9,45	8,88	10,02	-3,02
R9	1,22	1,93	0,35	1,05	0,27	1,92	1,49	2,25	1,03
R10	1,86	1,38	2,09	1,91	1,80	1,31	1,09	2,51	0,65
R11	1,58	1,53	1,52	1,53	1,47	1,49	1,58	1,64	0,06
R12	0,67	3,46	0,58	4,24	4,30	3,79	4,09	6,00	5,33

c)	total length of bends (km) [1,25 > SI > 1,05]								
	1952	1956	1975	1980	1988	2000	2005	2011	Total
R1	3,26	2,90	3,21	3,11	2,86	4,10	1,15	2,59	-0,67
R2	1,79	2,04	1,95	1,74	2,65	2,66	2,61	2,67	0,88
R3	0,57	1,25	1,23	1,30	0,94	1,25	1,23	1,29	0,73
R4	2,38	3,12	2,79	3,02	3,12	2,64	3,51	3,41	1,03
R5	4,09	4,47	4,09	1,92	3,70	3,75	3,16	2,64	-1,46
R6	5,25	5,75	5,71	7,46	7,07	7,46	7,43	7,49	2,25
R7	0,48	0,69	1,00	0,28	0,16	0,26	0,10	0,42	-0,07
R8	14,20	15,54	14,67	14,26	16,23	16,73	15,57	16,62	2,42
R9	1,66	1,08	2,41	2,15	2,56	1,54	2,15	1,00	-0,66
R10	0,00	0,37	0,34	1,16	0,88	2,57	1,68	1,26	1,26
R11	1,91	1,76	1,18	1,05	1,24	1,73	1,76	1,41	-0,50
R12	2,83	3,67	3,30	4,20	2,59	3,34	3,77	3,94	1,11

d)	total length of bends (km) [SI < 1,05]								
	<i>1952</i>	<i>1956</i>	<i>1975</i>	<i>1980</i>	<i>1988</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>	<i>2011</i>	Total
R1	3,72	3,67	2,55	3,17	3,16	1,89	2,59	3,12	-0,60
R2	0,57	0,81	0,67	1,01	0,13	0,15	0,13	0,15	-0,42
R3	0,08	0,47	0,40	0,48	0,46	0,47	0,35	0,13	0,04
R4	1,97	2,30	2,30	2,53	2,73	2,99	2,27	2,65	0,68
R5	0,84	1,58	1,23	1,04	0,22	0,41	0,37	0,74	-0,10
R6	3,82	3,44	1,88	1,36	1,39	1,49	1,39	1,10	-2,72
R7	1,25	1,12	0,61	0,78	1,07	1,69	1,56	1,51	0,26
R8	3,26	3,04	2,30	3,32	3,25	2,84	4,12	3,11	-0,15
R9	0,26	0,20	0,40	0,47	0,63	0,86	1,12	1,41	1,15
R10	0,29	0	0	0	0	0	0	0,72	0,43
R11	1,15	1,41	1,79	2,18	1,80	1,32	1,21	1,65	0,50
R12	1,39	1,60	2,22	1,00	3,13	3,45	3,02	3,59	2,21

2. A Sajó sajoszentpéteri szakaszán kialakult ártéri fok kialakulása és feltöltődése



3. Konfúziós mátrixok

1952 - 1956							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,013	0,010	0,004	0,002	0,001	0,000	0,0291
G	0,025	0,450	0,011	0,008	0,025	0,000	0,5188
AL	0,001	0,001	0,321	0,000	0,000	0,000	0,3231
BS	0,002	0,002	0,002	0,020	0,016	0,000	0,0412
RC	0,001	0,008	0,011	0,016	0,046	0,000	0,0825
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,0053
Total	0,041	0,4706	0,3485	0,0459	0,0885	0,0055	1
Kappa	0,77						

1956 - 1975							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,012	0,030	0,014	0,005	0,029	0,001	0,0901
G	0,012	0,448	0,018	0,016	0,006	0,000	0,501
AL	0,000	0,008	0,278	0,000	0,000	0,000	0,2867
BS	0,002	0,007	0,002	0,008	0,019	0,000	0,0381
RC	0,002	0,025	0,011	0,012	0,028	0,000	0,0773
S	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,005	0,0068
Total	0,0293	0,519	0,3226	0,0412	0,0825	0,0054	1
Kappa	0,65						

1975 - 1988							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,069	0,049	0,004	0,021	0,015	0,001	0,1589
G	0,005	0,077	0,006	0,005	0,000	0,000	0,0931
AL	0,013	0,326	0,276	0,000	0,002	0,000	0,6166
BS	0,000	0,008	0,000	0,005	0,028	0,000	0,0413
RC	0,004	0,042	0,000	0,007	0,032	0,000	0,0844
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,0057
Total	0,0905	0,5011	0,2867	0,0378	0,0771	0,0068	1
Kappa	0,28						

1988 - 2000							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,083	0,008	0,010	0,026	0,012	0,000	0,1383
G	0,054	0,084	0,015	0,008	0,005	0,000	0,1657
AL	0,010	0,002	0,575	0,000	0,000	0,000	0,5864
BS	0,005	0,000	0,000	0,003	0,007	0,000	0,0158
RC	0,007	0,000	0,017	0,004	0,060	0,000	0,0869
S	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,0068
Total	0,159	0,093	0,6166	0,0414	0,0843	0,0057	1
Kappa	0,68						

2000 - 2005							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,090	0,023	0,002	0,012	0,009	0,001	0,1357
G	0,045	0,136	0,004	0,002	0,004	0,001	0,1919
AL	0,002	0,006	0,575	0,000	0,000	0,000	0,5825
BS	0,000	0,000	0,000	0,001	0,013	0,000	0,0138
RC	0,003	0,001	0,006	0,000	0,061	0,000	0,0703
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,0058
Total	0,139	0,1657	0,5863	0,0152	0,087	0,0068	1
Kappa	0,78						

2005 - 2011							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,122	0,088	0,003	0,013	0,008	0,000	0,2337
G	0,007	0,088	0,008	0,000	0,000	0,001	0,104
AL	0,002	0,010	0,550	0,000	0,000	0,000	0,5626
BS	0,001	0,001	0,004	0,001	0,014	0,000	0,0199
RC	0,004	0,005	0,018	0,000	0,047	0,000	0,0739
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,0059
Total	0,1365	0,1918	0,5825	0,0138	0,0696	0,0058	1
Kappa	0,69						

2011 - 2015							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,216	0,030	0,004	0,006	0,007	0,000	0,263
G	0,007	0,066	0,001	0,000	0,000	0,000	0,074
AL	0,004	0,007	0,541	0,000	0,000	0,000	0,5516
BS	0,003	0,000	0,003	0,014	0,018	0,000	0,0372
RC	0,004	0,001	0,015	0,000	0,049	0,000	0,0684
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,0058
Total	0,2338	0,1042	0,5626	0,0195	0,0739	0,006	1
Kappa	0,82						

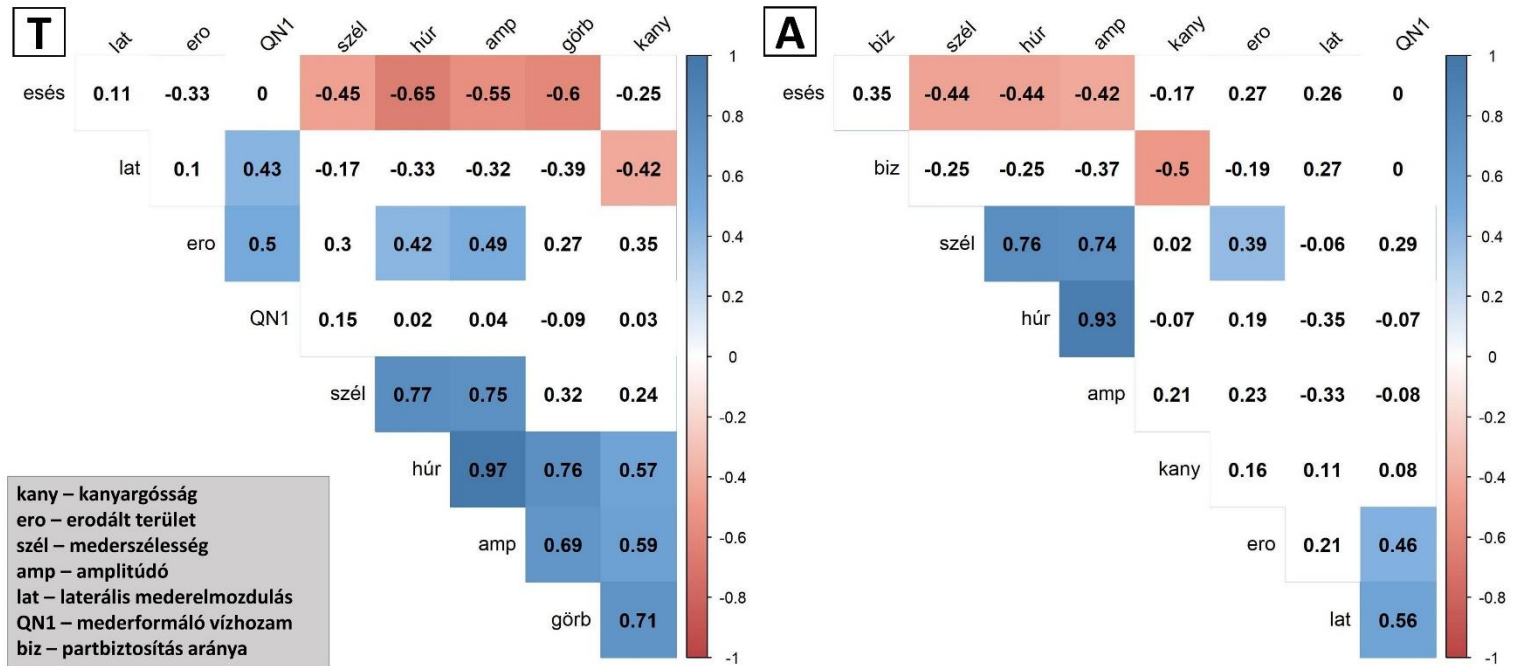
2015 - 2016							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,248	0,014	0,008	0,005	0,001	0,000	0,2762
G	0,003	0,056	0,002	0,000	0,000	0,000	0,0606
AL	0,001	0,001	0,538	0,000	0,000	0,000	0,5395
BS	0,003	0,000	0,000	0,031	0,005	0,000	0,0384
RC	0,006	0,000	0,004	0,001	0,063	0,000	0,0751
S	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,006	0,0102
Total	0,263	0,074	0,5516	0,0373	0,0683	0,0058	1
Kappa	0,91						

2016 - 2017							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,268	0,007	0,003	0,009	0,004	0,000	0,2915
G	0,002	0,052	0,002	0,000	0,000	0,000	0,0556
AL	0,003	0,001	0,531	0,000	0,000	0,000	0,5344
BS	0,002	0,000	0,000	0,028	0,004	0,000	0,0334
RC	0,002	0,000	0,004	0,002	0,067	0,000	0,0745
S	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,0106
Total	0,2759	0,0604	0,5395	0,0383	0,0756	0,0103	1
Kappa	0,93						

1952 - 2017							
	F	G	AL	BS	RC	S	Total
F	0,02	0,11	0,06	0,03	0,06	0,00	0,29
G	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06
AL	0,01	0,27	0,26	0,00	0,00	0,00	0,53
BS	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03
RC	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,07
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Total	0,0404	0,4711	0,3485	0,046	0,0885	0,0055	1
Kappa	0,13						

F Forest
G Grasslands
AL Arable lands
BS Bar surfaces
RC River channel
S Settlement

4. Az egyes medermorfometriai paraméterek, a parterózió, a laterális mederelmozdulás és a hidrológiai adatok közötti korrelációk mértéke és a kapcsolat szorossága a természetes (T) valamint az antropogén (A) besorolású kanyarulatok mentén



Publikációs jegyzék

Tudományos közlemények a disszertáció témájában:

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban:

Bertalan, L., Rodrigo-Comino, J., Surian, N., Šulc Michalková, M., Kovács, Z., Szabó, Sz., Szabó, G., Hooke, J. (2019): Detailed assessment of spatial and temporal variations in river channel changes and meander evolution as a preliminary work for effective floodplain management. The example of Sajó River, Hungary. *Journal of Environmental Management* 248, 109277. **(D1 – Impakt Faktor: 4.865)**

Bertalan, L., Novák, T.J., Németh, Z., Rodrigo-Comino, J., Kertész, Á., Szabó, Sz. (2018): Issues of Meander Development: Land Degradation or Ecological Value? The Example of the Sajó River, Hungary. *Water* 10, 1613. **(Q1 – Impakt Faktor: 2.524)**

Bertalan, L., Tóth, Cs.A., Szabó, G., Nagy, G., Kuda, F., Szabó, Sz. (2016): Confirmation of a theory: reconstruction of an alluvial plain development in a flume experiment. *Erdkunde* 70(3): 271-285. **(Q3 - Impakt Faktor: 0.923)**

Türk, G., **Bertalan L.**, Balázs B., Fehérné Baranyai E., Szabó Sz. (2016): Process of overturning due to a floodwave in an oxbow lake of Tisza River. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 11(1): 255-264. **(Q3 - Impakt Faktor: 0.88)**

Idegen nyelvű tudományos közlemény hazai folyóiratban:

Bertalan, L., Túri, Z., Szabó, G. (2016): UAS photogrammetry and object-based image analysis (GEOBIA): erosion monitoring at the Kazár badland, Hungary. *Acta Geographica Debrecina Landscape & Environment Series* 10(3-4): 169-178.

Idegen nyelvű könyvfejezetek külföldi kötetben:

Szabó, G., **Bertalan, L.**, Barkóczy, N., Kovács, Z., Burai, P., Lénárt, C. (2018): Zooming on Aerial Survey. In: Casagrande, G., Sik, A., Szabó, G. (Eds.): *Small Flying Drones: Applications for Geographic Observation*. Springer International Publishing, Zürich. pp. 91-126.

Barkóczy, N., **Bertalan, L.**, Szabó, G., Deák, M., Kari, Sz., Vizi, J.Cs., Zagorác, M., Sik, A., Riedel, M., Kohán, B., Mészáros, J., Szalai, Z., Szabó, O., Nagy, B. (2018): Examples from the Boundaries of Geographic Survey: Architecture and Flood Modeling. In: Casagrande, G., Sik, A., Szabó, G. (Eds.): *Small Flying Drones: Applications for Geographic Observation*. Springer International Publishing, Zürich. pp. 127-156.

Idegen nyelvű hazai és külföldi konferenciakivonatok:

Bertalan, L., Novák, T., Németh, Z., Szabó, S. (2019): Can lateral bank erosion enhance ecological diversity? A case study from Sajó River, Hungary. *Geophysical Research Abstracts* 21, Paper 3324.

Bertalan, L., Szabó, G., Yousefi, S. (2018): Assessing the rates of channel shifts, bend development and bank erosion hazard on the Sajó River (Hungary) by aerial and terrestrial photogrammetry. *Geophysical Research Abstracts* 20, Paper 1982-2.

Bertalan, L., Rodrigo-Comino, J., Surian, N., Šulc, M., Szabó, G. (2018): Complex assessment of channel changes and bank erosion hazard on the Sajó (Slaná) River, Hungary. In: Máčka, Z., Ježková, J.; Nováková, E., Kuda, F. (eds.) Geomorfologický sborník 16: Proceedings of the conference: State of geomorphological research in 2018. Institute of Geonics of the CAS; Brno., Masaryk University, Ostrava. pp. 13-14.

Bertalan, L., Konsoer, K.M. (2017): Testing different field survey methods for lateral erosion monitoring at the tributaries of the Lower Mississippi River - In: Balázs, B. (ed.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" VIII.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. 462 p.

Bertalan, L., Szabó, G., Szabó, Sz. (2016): Soil degradation induced by lateral erosion of a non-regulated alluvial river (Sajó River, Hungary) - In: Zapletalová, J., Kirchner, K. (eds.) Aktuální environmentální hrozby a jejich impakt v krajině (Current environmental threats and their impact in the landscape Brno): Sbornik abstraktu z mezinárodního workshopu. pp. 8-9.

Bertalan, L., Szabó, G.: 2015. Lateral erosion monitoring along a southern section of Sajó (Slaná) River. In: Křížová, A. (ed.) Detailed Aerial Mapping and Flood Impact Monitoring in the V4 Region. Bratislava: Univerzita Komenského. 4 p.

Bertalan, L.: 2013. Investigations of fluvial geomorphic processes in laboratory conditions with modern GIS methods. In: Macka, Z., Havlíček, M., Demek, J., Kirchner, K. (eds.) State of geomorphological research in the year 2013 - Proceedings and excursion guide of the conference. Brno: Institute of Geonics - Academy of Sciences of the Czech Republic, 2013. 97 p. (Geomorfologický sborník 11).

Magyar nyelvű konferencia-közlemények:

Bertalan L., Nagy, B., Szopos N.M., Eltner, A., Sardemann, H., Mader, D. (2019): Medertopográfiai és hidrometriai vizsgálatok a Sajó mentén pilóta nélküli vízi- és légi járművekkel. In: Molnár, V. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" X.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 55-60.

Bertalan, L., Szabó, G., Szabó, Sz. (2017): Hidrológiai tényezők lehetséges hatásai a Sajó magyarországi szakaszának mederfejlődésére. In: Balázs B. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" VIII.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 57-64.

Barkóczy, N., **Bertalan, L.,** Szabó G. (2017): Eltérő kamera-típusok képeiből generált felszínmodellek összehasonlítása mikrotopográfiai vizsgálatokban. In: Balázs B. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" VIII.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 35-41.

Bertalan, L., Kovács, Z., Szabó, G. (2016): A Sajó mederfejlődési dinamikájának vizsgálata térinformatika-alapú morfometriai elemzések alapján. In: Balázs, B. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" VII.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 91-98.

Bertalan, L., Szabó, G. (2015): Mederfejlődési vizsgálatok a Sajó hazai szakaszán. In: Boda, J. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" VI.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 61-68.

Bertalan, L., Szabó G. (2014): Fotogrammetria-alapú domborzatmodellezés folyóvízes terepasztalon. In: Balázs, B. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" V.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 69-76.

Bertalan, L., Tóth, Cs. A., Szabó, G. (2013): Fluviális felszínfejlődési folyamatok modellezési lehetőségei folyóvízes laboratóriumban. In: Lóki, J. (szerk.) „Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában” IV. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Universitas Alapítvány, Debrecen pp. 111-118.

Magyar nyelvű konferencia-kivonatok

Bertalan, L., Restás, Á. (2018): A drónok katasztrófavédelmi alkalmazásának lehetőségei folyóvízi partpusztulás és árvízvár felmérésében. In: Vass, Gy., Mógor, J., Kovács, G., Dobor, J.; Horváth, H. (szerk.) *Katasztrófavédelem 2018: Veszélyes tevékenységek biztonsága.* Budapest, BM OKF, p. 317.

Bertalan, L. (2018): MindaGIS Point Cloud a parteróziós elemzések szolgálatában: Mederprofil-szerkesztés gyorsan és egyszerűen. In: Molnár, V. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" IX.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 45-46.

Bertalan, L., Szabó, G., Kovács, Z., Szabó, Sz. (2016): Recens kanyarulatfejlődés és a hidrológiai tényezők kapcsolatának vizsgálata a Sajó hazai szakaszán. In: Pajtókné Tari, I., Tóth, A. (szerk.) *Magyar Földrajzi Napok 2016: Absztraktkötet: VIII. Magyar Földrajzi Konferencia: XVI. Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciája: Oktatás-módszertani és Földrajztanári Konferencia.* Magyar Földrajzi Társaság, Eger. p. 125.

Bertalan, L., Barkóczy, N., Szabó, G. (2016): Fényképekből generált felszínmodellek lehetőségei Kereskedelmi és OpenSource szoftver-környezetben (Agisoft Photoscan vs. VisualSFM). In: Balázs, B. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" VII.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. p. 541.

Bertalan, L., Szabó, G. (2016): Erózió-akkumuláció a Sajó kanyarolatai mentén egy UAV szemszögéből. In: Balázs, B. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" VII.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. p. 543.

Bertalan, L., Szeghalmy, Sz., Barkóczy, N., Szabó, G. (2016): Xbox Kinect szenzor alkalmazási lehetőségei a felszínmodellezésben. In: Balázs, B. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" VII.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiallítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. p. 542.

Magyar nyelvű tudományos ismeretterjesztő cikk:

Bertalan, L. (2018): Drónok a tudomány szolgálatában: A pusztuló folyópartok vizsgálata geoinformatikai módszerekkel. *Egyetemi Élet* 57(1): p. 24.

Egyéb tudományos közlemények:

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban:

Tóth, Cs.A., Deák, B., Nyilas, I., **Bertalan, L.**, Valkó, O., Novák, T.J. (2019): Iron age burial mounds as refugia for steppe specialist plants and invertebrates – case study from the Zsolca mounds (NE Hungary). *Hacquetia* 18(2), 189-200. (Q2 – **Impakt Faktor: -**)

Rodrigo-Comino, J., Lucas Borja, M.E., **Bertalan, L.**, Cerdá, A. (2019): Integrating in situ measures in an index of connectivity to assess soil erosion processes in vineyards. *Under Review at Hydrological Sciences Journal (Q1 – Impakt Faktor: 2.180)*

Szabó, Sz., **Bertalan, L.**, Kerekes, Á., Novák, T.J. (2015): Possibilities of land use change analysis in a mountainous rural area: a methodological approach. *International Journal of Geographic Information Science* 30(4): 708-726. (D1 - **Impakt Faktor: 2.502**)

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban:

Abriha, D., Kovács, Z., Ninsawat, S., **Bertalan, L.**, Balázs, B., Szabó, S.: Identification of roofing materials with Discriminant Function Analysis and Random Forest classifiers on pan-sharpened WorldView-2 imagery - a comparison. *Hungarian Geographical Bulletin* 67(4): 375-392. (Q2 – **Impakt Faktor: -**)

Magyar nyelvű tudományos közlemény hazai folyóiratban:

Bertalan, L. (2012): Tájszerkezeti változások jellemzése tájmetriai mérőszámokkal egy Zempléni-hegységi mintaterület példáján. „A mi tendenciáink...” - Szakkollégiumi Tanulmányok 1: 181-191.

Idegen nyelvű konferenciakivonatok:

Szabó, S., Abriha, D., Kovács, Z., Sarawut, N., **Bertalan, L.**, Balázs, B. (2019): Pan-sharpening as an effective method to improve classification accuracy of roofing materials. *Geophysical Research Abstracts* 21, Paper 14594.

Yousefi, S., Moradi, H., **Bertalan, L.** (2018): Detecting the role of land use / land cover on river bank processes (Study area: Talar River, Iran). *Geophysical Research Abstracts* 20, Paper 6237.

Quinonez Fernandez, O., **Bertalan, L.** (2018): Magnitude of shoreline retreat in the Itaipu Reservoir (Brazil-Paraguay border region) from 1984 to 2016. *Geophysical Research Abstracts* 20, Paper 1560-1.

Magyar nyelvű konferencia-kivonatok:

Négyesi, G., **Bertalan, L.**, Andrási, B., Buró, B. (2018): Félig kötött homokformák morfológiai elemzésének lehetőségei a Nyírségben. In: Molnár, V. (szerk.) "Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában" IX.: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Konferencia-kötet. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 259-260.

Bertalan, L., Balázs, B., Lázár, I., Négyesi, G. (2018): Szélklimatológiai elemzések geoinformatikai és fotogrammetriai módszerekkel. In: Fazekas, I., Kiss, E., Lázár, I. (szerk.) IX. Magyar Földrajzi Konferencia előadásainak összefoglalói. Debrecen, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, p. 119.

Szabó, Sz., **Bertalan, L.**, Varga, O., Novák, T.J. (2016): A számszerűsített felszínborítás-változás módszertani kérdései. In: Pajtókné Tari, I., Tóth, A. (szerk.) Magyar Földrajzi Napok 2016: Absztraktkötet: VIII. Magyar Földrajzi Konferencia: XVI. Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciája: Oktatás-módszertani és Földrajztanári Konferencia. Magyar Földrajzi Társaság, Eger. pp. 105-106.

Bertalan, L. (2012): Tájmetria alapú változásvizsgálat a Felső-Hegyközben. In: Blanka, V. (szerk.) Kockázat - Konfliktus - Kihívás: A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának absztrakt kötete. SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged, pp.16.