

# KANYARULATI PARAMÉTEREK ÉS VÍZHOZAM ILLETVE KANYARULTVÁNDORLÁS SEBESSÉGE KÖZÖTTI KAPCSOLAT VIZSGÁLATA MAGYARORSZÁGI FOLYÓKON

## ZÁRÓJELENTÉS

A pályázat keretein belül egy többlepcsős kutatást végeztünk, hogy a hosszú és rövid távú kanyarulat- és ártérfejlődést elemezzük. Az elemzések során kiemelt szerepet kaptak az ártér- és mederfejlődést befolyásoló emberi hatások. Nagyon fontosnak tartom kiemelni, hogy az OTKA pályázat témájához kapcsolódva, és a pályázat anyagi támogatásával három PhD dolgozat is elkészült: 2014-ben Sümeghy Borbála védte meg a Maros hordalékkúp fejlődéstörténetével foglalkozó disszertációját, majd 2015-ben Hernesz Péter védte meg sikeresen kutatási eredményeit az Alsó-Tisza késő pleisztocén – holocén kialakulásáról, míg 2015 év végén András Gábor adta be elkészült disszertációját. Ezen felül a pályázat biztosította az anyagi háttérrel Kiss Tímea akadémiai doktori dolgozatának háttérkutatásához is.

### 1. A paleo-medrek morfológiája

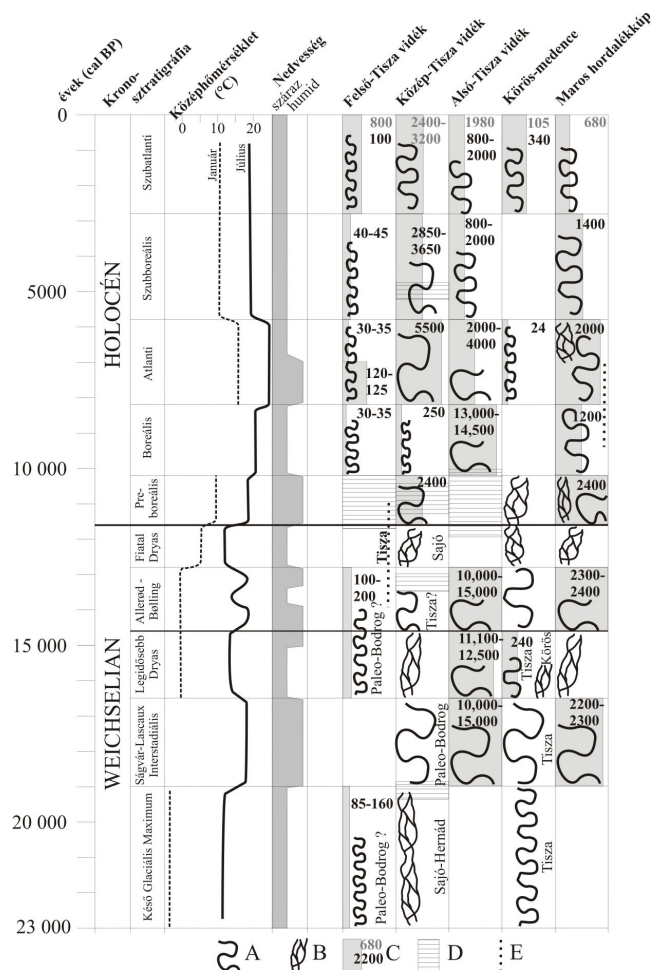
A vizsgált ártereken és hordalékkúpon a fluviális formákat (pl. paleo-medrek, övzátonyok, zátonyok, lecsapoló medrek) topográfiai térképlapok és GoogleEarth alapján, illetve terepbejárások során azonosítottuk, majd a morfometriai méréseket ArcGIS 10 szoftver segítségével végeztük. Lemértük a medrek horizontális kanyarulati paramétereit, a hozzájuk tartozó ártér esését, illetve néhány medernek megmértük az egykori mélységét fúrások és terepi térképezés segítségével. A Tisza mentén csak meanderező medreket azonosítottunk: a Beregben 4 pászta mentén, míg az Alsó-Tiszán 3 ártéri szinten. Ugyanakkor a Maros hordalékkúpon 18 pásztát térképeztünk fel, amelyek közül anasztomizáló mintázatú medrek túlsúlya jellemző a közepes esésű centrális részen, míg a hordalékkúp meredekebb, peremi részén megnő a meanderező mintázatú medrek aránya, és a fonatos mintázatú medrek a hordalékkúpon hosszán, a középső résztől az előtéri rész irányába végig kísérhetők.

A kanyarulatok korát (és vándorlási sebességét) az övzátónysorok OSL és radiokarbon kormeghatározásával az Alsó-Tisza Csongrád–Titel közötti szakaszán, a Maros hordalékkúpon és a Felső-Tiszán Beregben adtuk meg. Az Alsó-Tiszán 14 mintavételi helyen 28 OSL minta korát határoztuk meg, amelyek alapján a fluviális folyamatokat a felső-pleniglaciális kezdetétől egészen a XIX. századi folyószabályozásokig (25,6±1,4 ezer évről 0,25±0,03 ezer évig) rekonstruáltuk (Hernesz 2015). A Maros hordalékkúpon 19 mintavételi helyről 29 minta OSL korát mértük meg, így a Maros hordalékkúp-építő tevékenysége 18,7±2,3 ezer évtől 1,6±1,3 ezer évig volt vizsgálható (Sümeghy 2014). A Felső-Tiszán 2015-ben a Beregi Tározó megépítése kapcsán hatalmas bányagödröket létesítettek, amelyek fala mentén hosszán feltárult a fluviális rétegsor. Itt 6 falból 7 db OSL és 5 db radiokarbon mintát gyűjtöttünk, amelyek segítségével a Beregi-sík története 18,7±2,3 ezer évtől 5052-4081 cal BP évig rekonstruálható (Kiss et al. 2015).

A vizsgált paleo-medrek vízhozamát a Tisza vízrendszerére önállóan kidolgozott képletek segítségével adtuk meg (1. táblázat). Sajnos, ezek nagy hibát hordoznak, ha a mainál lényegesen nagyobb kanyarulatokra alkalmazzuk őket, azonban arra alkalmasak, hogy az egykori mederkitöltő vízhozamot (1. ábra) becsülni lehessen (Sümeghy és Kiss 2011, Sümeghy et al. 2012).

1. táblázat: Vízhhozam és kanyarulati paraméterek közötti összefüggések és alkalmazhatóságának értéktartománya

<b>Kanyarulati paraméter</b>	<b>Függvény egyenlete</b>	<b>Korr. (<math>R^2</math>)</b>	<b>Tartomány (m)</b>
Húrhossz ( $H$ )	$Q_{bk} = -0,0004 \cdot H^2 + 2,4607 \cdot H - 864,37$	0,8206	412 – 1289
Ívhossz ( $L$ )	$Q_{bk} = 0,00006 \cdot L^2 + 0,846 \cdot L - 407,41$	0,8108	725 – 2538
Görbületi sugár ( $R_c$ )	$Q_{bk} = 0,0004 \cdot R_c^2 + 2,6724 \cdot R_c - 64,676$	0,7041	129 – 587



1. ábra: Medermintázat és mederkitöltő vízhozam alakulása a Tisza vízrendszerében irodalmi (Borsy et al. 1989; Nagy 2002; Gábris és Nádor 2007) és önálló adatok alapján (Hernesz és Kiss 2013; Sümeghy et al. 2013, Kiss et al. 2015). A: meanderező mintázat (a relatív mederméret feltüntetésével), B: fonatos mintázat, C: rekonstruált mederkitöltő vízhozam ( $m^3/s$ ) (a szürke négyzet relatív nagyságot, a számok abszolút értéket mutatnak), D: bevágódás, E: főbb avulziós időszak.

## 2. Ártér- és hordalékkúp fejlődés vizsgálata

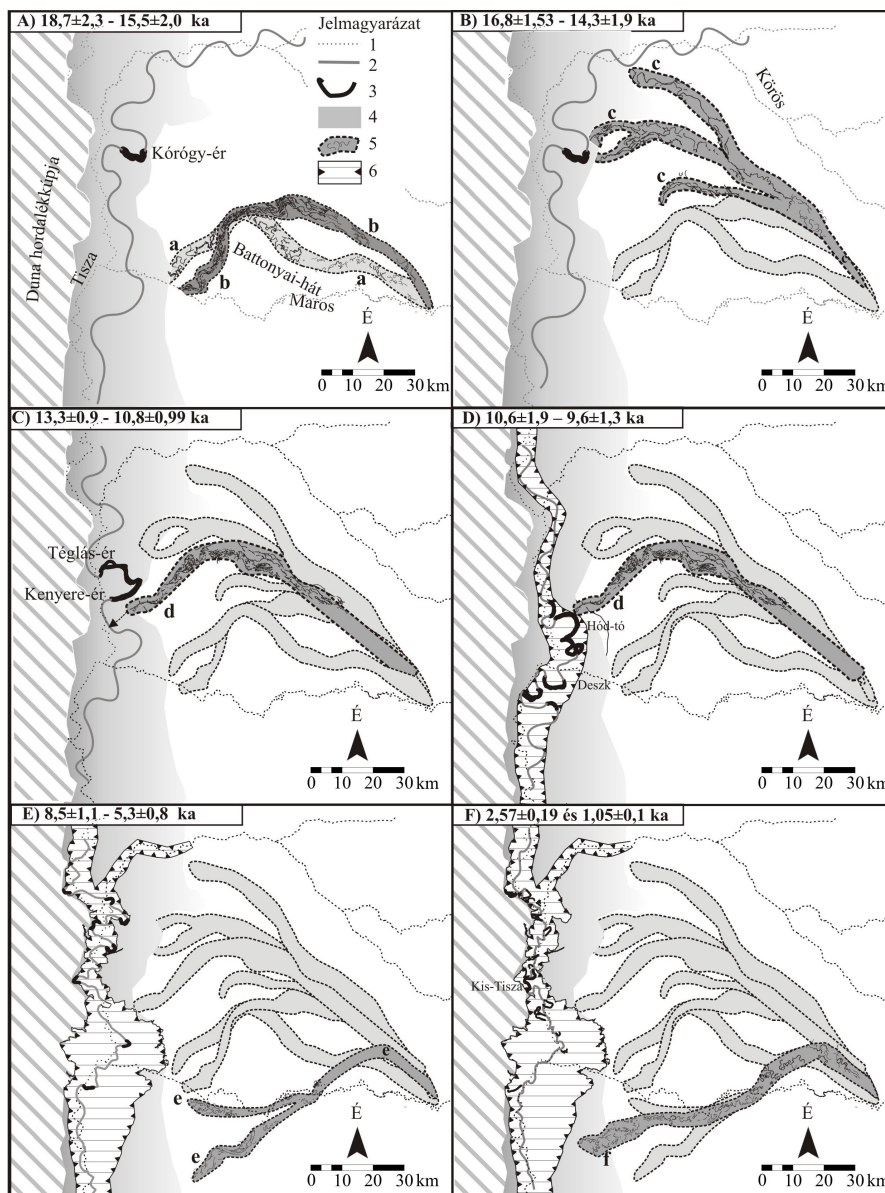
A késő-pleisztocén és holocén ártérfejlődést az Alsó-Tiszán (Csongrád és Tittel között), a Beregi-síkon, illetve a Maros hordalékkúp magyar és román területein vizsgáltuk. Felmértük a formákat, meghatároztuk a medrek aktív időszakát és mederkitöltő vízhozamát, valamint irodalmi adatok alapján a mederfejlődés környezeti tényezőit.

### 2.1. A Maros hordalékkúp fejlődéstörténete

A hordalékkúp felszínén azonosítható legidősebb paleo-meder  $18,7 \pm 2,3$  ezer éve volt aktív (Sümeghy et al. 2013, Kiss et al. 2014). Az ennél idősebb medreket a Maros fiatalabb medrei felülírhatták és betemethették. A medrek mintázata, futásvonala és kora alapján, a hordalékkúp felszínén nyolc futásvonalat különítettünk el (2. ábra). A pleisztocén során öt futásvonalat táplált a Maros, melyek a hordalékkúp magyarországi részét építették. Megközelítőleg  $9,6 \pm 1,3$  –  $8,5 \pm 0,9$  ezer évvel ezelőtt egy jelentős mértékű avulzió hatására a Maros a Battonyai-hát kiemelkedését délről kezdte megkerülni. Az irányváltás hátterében feltehetőleg egy nagymértékű süllyedés állt, ami a Tisza bevágódását illetve a Maros erózió-bázisának jelentős süllyedését eredményezte. Ezután a folyó a hordalékkúp romániai és

szerbiai részét kezdte építeni, majd az utolsó ( $1,9\pm 0,3 - 1,6\pm 0,3$  ka) paleo-meder pászta a mai Aranka vonalában jött létre.

A Maros paleo-medreinek vizsgálata azt mutatta, hogy meleg és nedves klimatikus viszonyok között sűrű, zárt növényzet alakulhatott ki, ami csökkentette az oldalazó erózió és a felszíni lefolyás mértékét. Ebből adódóan a szállított vízmennyiség és a hordalék mennyisége, illetve szemcsemérete csökkent, ami kedvezett a meanderező mintázatú vízfolyások kialakulásának. Ezzel szemben hűvös és száraz klímán a növényzet zártsága lecsökkent, lehetőséget biztosítva a folyók oldalazó eróziójára, illetve növelve a felszíni lefolyás mértékét. Ilyen feltételek mellett nőtt a vízhozam és a szállított hordalék mennyisége és szemcsemérete is. Ezek a feltételek hozzájárultak a fonatos és anasztomizáló mintázatú vízfolyások kialakulásához.



2. ábra A Maros és a Tisza futásának változásai a felső-pleniglaciálisról napjainkig (A-F). 1: a folyók mai vonala; 2: a Tisza egykori futásiránya; 3: adott időszakban aktív Tisza meder; 4: magasabban elhelyezkedő ártér; 5: adott időszakban aktív Maros futásvonal; 6: bevágódó alacsonyabb helyzetben lévő ártér (forrás: Kiss et al. 2013, 2015)

## 2.2. Az Alsó-Tisza fejlődéstörténete

Vizsgálataink szerint az Alsó-Tisza mentén három ártéri szint alakult ki, amelyek észak-dél irányban hosszan húzódnak és markáns peremmel határoltak (Hernesz et al. 2015, Kiss et al. 2015). A felső-pleniglaciális első felében voltak aktívak a C-szint legdélebbi medrei (pl. Nagybecskerekénél a legidősebb övzátany  $25,6 \pm 1,4$  ezer éves). Nagy becsült mederkitöltő vízhozama ( $10800 \text{ m}^3/\text{s}$ ) és viszonylag durvaszemű hordaléka nagy energiájú fluviális környezetre utal. A C-szint északabbi medrei (pl. Szegvárnál és a Téglás-ér mentén) később alakultak ki ( $20,1 \pm 2,4$  ka –  $16,9 \pm 1,1$  ka). Bár a fiatalabb medrek horizontális paraméterei, a vízhozam értékek és az övzátanyok száma nem mutat nagyobb változásokat az utolsó glaciális maximumhoz képest, a hordalék jelentősen finomodott.

A felső-pleniglaciális utolsó hidegebb periódusában (Dryas I.) már a B-szint formálódott a kutatási terület déli részén, tehát az első bevágódás a C/B szintek közötti a Ságvár-Lascaux interstadiális végén vagy a Dryas I. elején kezdődött a Tisza torkolata környékén. A kutatási terület északi egységében a C/B-szintek közötti bevágódás még a Bölling-Alleröd interstadiálisban sem nem indult meg, hiszen ekkor még formálódott a C-szint (Kórógy-éri meder:  $13,2 \pm 0,9$  ka; Kisrév:  $13,1 \pm 1,2$  ka). Eközben a déli egységben már megkezdődött a B/A-szintek közötti újabb bevágódás. A Bölling-Alleröd interstadiális végén és a Dryas III. elején már az Alsó-Tisza középső és északi egységben is megindult a C/B-szintek közötti bevágódás (Dóc:  $12,8 \pm 0,8$  ka). Ekkor már jelentősen csökkent a Tisza vízhozama. Az Alsó-Tisza legészakabbi egységben a C/B-szintek közötti bevágódás a preboreális elején is tartott (Batida:  $11,4 \pm 2,0$  ka). A fázis második felében viszont már a B-szint formálódása zajlott a középső és északi egységekben is (Deszk:  $11,0 \pm 0,7$  –  $9,9 \pm 0,7$  ka). Ekkor a déli egységben már az A-szint képződése folyt. A középső és az északi egységben a B/A-szintek közötti bevágódás a boreálisban zajlott (Kisrév:  $8,0 \pm 0,8$  ezer év, Anyás:  $7,4 \pm 0,5$  ka). A szubboreális fázisban a Tisza kanyarulatainak mérete fokozatosan csökkent. Eredményeink szerint a bevágódási és feltöltődési fázisok rendkívül összetett és hosszú fejlődés eredményeképpen alakultak ki, nem köthetők egy-egy tényező (pl. klímaváltozás) közvetlen hatásához (Kiss és Hernesz 2011, Kiss et al. 2012).

## 2.3. A Beregi-sík fejlődéstörténete

A Beregi-síkon 4 meanderező pászttát azonosítottunk (Hernesz et al. 2015), amelyek mentén intenzív volt a vertikális ártérfeltöltődés ( $0,5$ - $1,5$  m). Eredményeink szerint  $23$ - $7,5$  ezer éve lassú, főleg szerves anyagú ártérfeltöltődés volt jellemző. Igen vastag, mocsarakra jellemző paleo-talaj alakult ki minden mintavételi területen  $7,5$ - $7,3$  ezer éve. Ezt követően  $7,3$ - $7,0$  ezer éve felgyorsult az ártérfeltöltődés, és a paleo-talajok szeretlen iszapos-agyagos rétegekkel felváltva alakultak ki, ami arra utal hogy intenzívvé vált a folyóvízi feltöltődés. A futásvonalak alapján nagy valószínűséggel a pászttákat a Tisza, illetve az északi pászttát esetleg a Borsava építette. Igen gyors lehetett a pásztták kialakulása, hiszen koruk is nagyon hasonló. Kb.  $7$  ezer éve a Tisza mai futásvonala vált a terület hidrológiai tengelyévé, miközben a többi pászta elhalt és újból szervesanyagban gazdag ártéri üledékek rakódtak le.

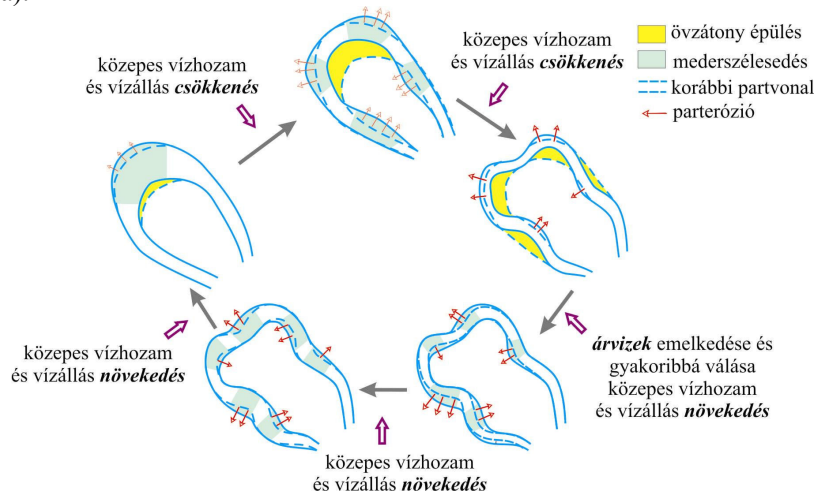
Nagyon fontosnak tartjuk hangsúlyozni, hogy a projekt-tervben ártér-átdolgozási ütemet kívántunk számítani. Azonban mindhárom mintaterületen nyilvánvalóvá vált, hogy *a fokozatos kanyarulatvándorlás helyett az árterek inkább hirtelen avulziók révén fejlődnek*. Ezt bizonyítják a Maros és a Beregi-sík mederpászttái, illetve az Alsó-Tisza nagyméretű ártéri szigetei.

## 3. Recens kanyarulatfejlődés vizsgálata

Az aktív kanyarulatvándorlási ütemet a Hernád, a Felső- és Alsó-Tisza, illetve a Dráva mentén mértük hosszabb távon légifotók, topográfiai és vízrajzi térképek felhasználásával (Andrási 2015, Kiss 2014, Kiss és Andrási 2014, 2015, Kiss és Balogh 2015, Kiss és Blanka 2012, Kiss és Hajdú 2015). Rövidtávon a külső ív hátrálását éves illetve féléves rendszerességgel RTK-GPS segítségével számszerűsítettük. Egyes kanyarulatoknak megmértük a partanyagát, megmértük a szemcseösszetételét, és georadarral a rétegzettségét. A belső ívek épülését a térképi adatok mellett dendrológiai módszerekkel vizsgáltuk.

Általánosságban jellemző, hogy:

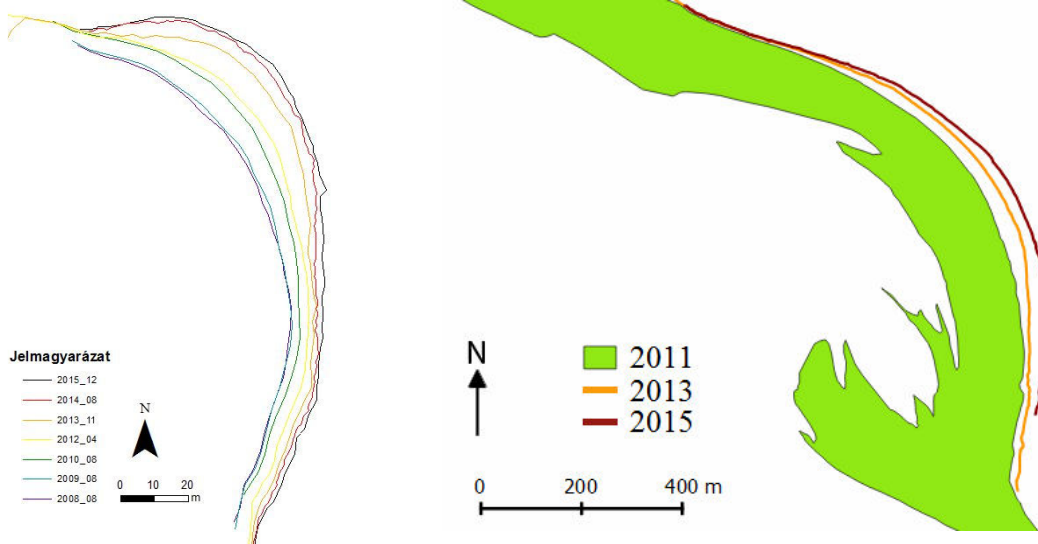
- A folyók hidrológiája átalakul, hiszen a Dráva kivételével nőtt az árvizek szintje, minden folyón csökkent a kisvizek magassága, és nőtt a gyakorisága.
- A hidrológiai rendszer megváltozása miatt a meder bevágódik, így minden folyón jellemző lesz, hogy a korábban kialakult övzátonyok a középvíznél magasabb szintre kerültek és növényzettel megkötődnek.
- Minden folyón a mederszélesség csökkent, és így a mederszelvény területe is.
- A hidrológiai egyensúly megbomlása miatt a kanyarulatok átalakultak, például a Hernádon a nagyméretű kanyarulatok helyett kisebbek jelentek meg, míg a Tiszán a kanyarulatok egyre élesebbé váltak (3. ábra).



3. ábra: A Hernád kanyarulatainak elvi fejlődési módja (Kiss és Blanka 2012)

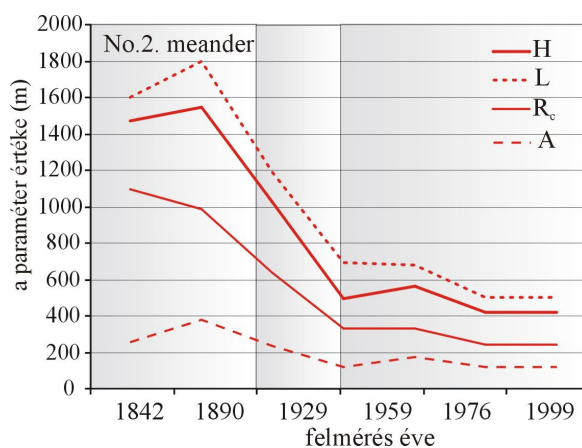
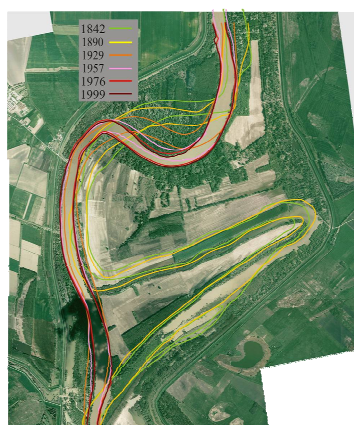
A kanyarulatok fejlődését befolyásoló tényezők:

- A partanyag kanyarulatoként eltérő módon befolyásolja a kanyarulatvándorlást (4. ábra). Leglazább a partanyag, és így a leggyorsabb a kanyarulatvándorlás a Felső-Tiszán (12-16 m/év), a Dráván (15-30 m/év) és a Hernádon (16,7 m/év), míg a jóval kötöttebb mederanyagú Alsó-Tiszán igen lassú (1,4-3,4 m/év).



4. ábra: A laza partanyagú Hernádon (Hernádcécénél) és a Dráván (Sigetecnél) gyors a kanyarulatok külső ívének évenkénti elmozdulása

- Az esés szerepét leginkább a Hernád Szentistvánbaksa-Gesztely közötti szakaszán tudtuk értékelni (az esésviszonyok változatossága miatt). Itt az esés különbségeinek következtében eltér a kanyargósság, a meanderezési övezet szélessége, valamint a kanyarulatfejlődés mértéke és típusa is. A nagyobb esésű szakaszokon nőtt a kanyargósság, a kanyarok hossza és a meanderezési öv szélessége, míg a kisebb esésű szakaszok kiegyenesedtek.
- A partok változó magassága a Hernád és a Dráva kanyarulatfejlődését befolyásolja, hiszen itt helyenként magaspartok kísérik a folyót. A kanyarulatvándorlás mértéke az alámosott part magasságának növekedésével csökken, jellemzővé válik a kanyarulat ellaposodása és két csúcspontúvá válása is, valamint aszimmetrikus kanyarulatok kialakulása.
- Alacsony kanyarulat-fejlettségénél ( $\beta \leq 1,4$ ) a kanyarulat-fejlettség növekedésével csökkent a partelmozdulás mértéke, ugyanakkor a fejlettebb kanyarulatoknál ( $\beta \geq 1,4$ ) a partelmozdulás mértékét egyéb morfológiai tényezők (pl. a kanyarulatok egymáshoz viszonyított helyzete) erősebben befolyásolták.
- A partbiztosítások építését megelőzően minden vizsgált kanyarultra jellemző volt a gyors kanyarulatfejlődés a kanyarulat paramétereinek lényeges torzulása nélkül. Azonban a partbiztosítások hatására a meder szűkült, és élesebbé vált. Különösen jellemző ez az Alsó-Tiszán, ahol kiterjedten alkalmazták a partbiztosításokat (5. ábra).



5. ábra: Az Alsó-Tisza egy Mindszenttől északra lévő kanyarulata és annak horizontális paramétereinek intenzíven torzulnak a megépített partbiztosítás hatására. H: húr hossz; L: ívhossz; R<sub>c</sub>: görbületi sugár; A: amplitúdó

- A kanyarulatok fejlődésében az árvizeknek kiemelt szerepe van, hiszen ilyenkor különösen nagymértékű a partpusztulás, illetve az övzátónyépülés. Például a 2010-es hernádi árvíz során egy kanyarulat 16,7 métert mozdult el, míg a Tisza mindszenti övzátonyára több ezer m<sup>3</sup> anyag rakódott.
- Az övzátónyépülés a mederkitöltő vízszintet lényegesen meghaladó vízállással tetőző árvizekhez köthető. A kisebb, mederben levonuló árhullámok inkább az övzátonyok eróziójában játszanak szerepet (pl. csongrádi strand pusztulása 2011 és 2012 között 20-30 cm-rel pusztult, Juhas 2013) Az övzátonyok fákkal történő stabilizálódása akkor valósulhat meg, ha az árvizet néhány évig nem követi újabb árvíz.

A pályázat ezen fejezetében azt tartjuk a legfőbb eredménynek, hogy az utóbbi évtizedekben-évszázadban a mérnöki beavatkozások hatására a kanyarulatok és a meder fejlődése is új irányt vett. A vizsgált folyók a bevágódás különböző mértékét mutatják. Egyre több kanyarulat válik szabályozottá (partbiztosítások, sarkantyúk, átvágások), amely a nem szabályozott kanyarulatok fejlődését is módosítja (általában felgyorsul a kanyarulatvándorlás és torzul a forma).

## Irodalomjegyzék

- Andrási G. 2015: A Dráva horvát-magyar szakaszán a vízjárás és a mederdinamika vizsgálata. PhD értekezés, SZTE-TFGT, p. 127.
- Borsy Z., Félegyházi E., Csongor É. 1989: A Bodrogek kialakulása és vízhalózatának változásai. Alföldi Tanulmányok, Békéscsaba, 65-81.
- 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. *Quaternary Science Reviews* 26, 2758-2782.
- Hernesz P. 2015: Késő-pleisztocén és holocén ártérfejlődés az Alsó-Tisza mentén. PhD értekezés, SZTE-TFGT, p. 128.
- Hernesz P., Kiss T. 2013: A Tisza meder partfalának vizsgálata: késő pleisztocén és holocén folyóvízi folyamatok az Alsó-Tiszán. *Hidrológiai Közlöny* 93, 13-19.
- Hernesz P., Kiss T., Sipos Gy. 2015: Ártéri szintek és paleo-medrek: ártérfejlődés az Alsó-Tisza mentén. *Földtani Közlöny* 145/3, 273-285.
- Hernesz P., Kiss T., Vass R. 2015: Development of the Bereg Plain (Hungary) based on radiocarbon and OSL data. *EuGeo Congress Programme and Abstracts*, Budapest, 182.
- Juhos T. 2013: Hosszú- és rövidtávú mederfejlődés a Tisza csongrádi szakaszán. MSc diplomamunka, SZTE-TFGT, p. 60.
- 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.
- Kiss T., Sümeghy B., Hernesz P., Sipos Gy., Mezösi G. 2013: Az Alsó-Tisza menti ártér és a Maros hordalékkúp késő-pleisztocén és holocén fejlődéstörténete. *Földrajzi Közlemények* 137/3, 269-278.
- Kiss T. 2014: Fluviális folyamatok antropogén hatásra megváltozó dinamikája: egyensúly és érzékenység vizsgálata folyóvízi környezetben. Akadémiai doktori értekezés, p. 164.
- Kiss T., Andrási G. 2015: Kanyarulatfejlődés sajátosságai és antropogén hatások vizsgálata két Drávai kanyarulat példáján. *Tájökológiai Lapok* 13/1, 73-88.
- Kiss T., Andrási G., 2014: Morphological classification and changes of islands on the Dráva River, Hungary-Croatia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 9/3, 33-46.
- 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. *Journal of Environmental Geography* 8 (1–2), 23–30.
- Kiss T., Hajdú I.Z. 2015: Morfológiai változások vizsgálata a Felső-Tisza ukrán-magyar szakaszán. *Hidrológiai Közlöny*, 95/2, 49-55.
- Kiss T., Hernesz P. 2011: Az Alsó-Tisza-vidék árterének geomorfológiai jellegzetességei és kora. *Földrajzi Közlemények* 135/3, 261-275.
- Kiss T., Hernesz P., Sipos Gy. 2012: Meander cores on the floodplain – an early Holocene development of the low floodplain along the lower Tisza region, Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 5/1-2. 1-10.
- Kiss T., Hernesz P., Sümeghy B., Györgyövícs K., Sipos Gy. The evolution of the Great Hungarian Plain fluvial system – fluvial processes in a subsiding area from the beginning of the Weichselian. *Quaternary International* 388, 142-155. IF: 1,962 DOI: 10.1016/j.quaint.2014.05.050
- Kiss, T., Sümeghy, B., Sipos, Gy. 2014: Late Quaternary paleo-drainage reconstruction of the Maros River Alluvial Fan. *Geomorphology* 204, 49-60.
- Nagy B. 2002: A felszínfejlődés késő-pleisztocén-holocén jellegzetességei a Sajó-Hernád hordalékkúpon. *Földtani Közlöny* 132/különszám, 93-100.
- Sümeghy B. 2014: A Maros hordalékkúp fejlődéstörténeti rekonstrukciója. PhD értekezés, SZTE-TFGT, p. 109.
- Sümeghy, B., Kiss, T. 2011: Discharge calculation of paleochannels on the alluvial fan of the Maros River, Hungary. *Journal of Environmental Geography* 4/1-4. 11-17.
- Sümeghy, B., Kiss, T., Fiala, K. 2012: Vízhozam és a kanyarlati paraméterek közötti összefüggések vizsgálata és alkalmazási lehetőségei. In.: Lóczy D. (szerk.): *Geográfia a Kultúra Fővárosában I., Az V. Magyar Földrajzi Konferencia természetföldrajzi közleményei*. Publikon kiadó, 115-123.
- Sümeghy, B., Kiss, T., Sipos, Gy., Tóth O. 2013: A Maros hordalékkúp felszíni képződményeinek geomorfológiája és kora. *Földtani Közlöny* 143/3, 265-278.