

Hidrologiai paraméterek megváltozására bekövetkező morfológiai átalakulás a Hernádon¹

Blanka Viktória

*Szegedi Tudományegyetem Természetudományi Kar, Természeti Földrajzi és
Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.
E-mail: blankav@earth.geo.u-szeged.hu*

1. Bevezetés

Az emberi beavatkozások hatása a vízfolyásokon világszerte egyre erőteljesebb. Ezek a beavatkozások pedig közvetve vagy közvetlenül megváltoztathatják a folyók morfológiai paramétereit, amit Lewin (1977) allogén változásoknak nevezett. A morfológiát közvetlenül megváltoztató emberi beavatkozás lehet például duzzasztó-építés, partbiztosítás és töltés létesítés, bányászati tevékenység a mederben, vagy a vízfolyás elterelése stb, azonban a víz- és hordalékhozam módosítása, területhasználat-változás következményeként a lefolyásviszonyok megváltoztatása, vízkivétel, urbanizáció vagy emberiség által okozott klímaváltozás is okozhat morfológiai változásokat a folyórendszerekben (Szabó 2006). A két leggyakoribb átalakulási folyamat, amit a 20. sz-ban megfigyeltek a bevágódás és a mederszűkülés (Rinaldi 2003), ami bányászat, urbanizáció (Capelly et al. 1997; Braga és Gervasoni 1989; Bravard et al. 1997) szabályozás (Rinaldi and Simon 1998; Surian 1999; Winterbottom 2000; Kiss et al. 2008) vagy meder eltérítés (Bradley és Smith 1984) következményeként zajlott le. Az emberi beavatkozások hatására bekövetkező mintázat változásokat világszerte számos vízfolyáson tanulmányozták. Gyors morfológiai változások zajlottak le a folyókon például Ausztráliában az európai telepések érkezését követően (Page et al. 2007), vagy mezőgazdasági termelés hatására (Urban és Rhoads 2003). Szabályozási beavatkozások pedig a medermintázat megváltozását okozhatják (Surian 1999; Gurnell 1997).

Ezeknek a változásoknak a háttérben sok esetben a víz- vagy hordalékhozam módosítása áll (Hooke 1997; Li et al. 2007), mivel a vízhozam meghatározza a folyók egyes geometriai paramétereit (Ackers, 1982). A meder szélessége például nagymértékben függ a vízhozamtól, a görbületi sugár és a mederszélesség aránya, valamint a görbületi sugár és a kanyarulathossz aránya pedig közel azonos minden kanyarulatnál (Leopold és Wolman 1960; Langbein és Leopold 1966; Harmar és Clifford 2006), így a mederformálódás szempontjából meghatározó vízhozam csökkenése ezeknek a paramétereknek a csökkenését is okozza. Gábris (1986, 1995) szerint a vízhozam a meanderparaméterek közül a húrhosszal, az ívhosszal és a meanderek tágasságával mutat szoros kapcsolatot, a görbületi sugár és a vízhozam összefüggése azonban jóval gyengébb, mivel azt a kanyarulat fejlettsége erősen befolyásolja. Schumm és Beathard (1976) szerint a vízhozam befolyásolja a szinuszitást is és a rendellenes szinuszitás instabilitást jelezhet. A húrhossz pedig szoros összefüggésben áll a zátonyok távolságával és ezzel együtt a mederszélességgel is mind egyenes medrekben, mind a kanyargósban (Ackers 1982), ugyanis (Leopold et al. 1964; Lewin 1972) szerint a gázlók általában 5 és 7 mederszélességnyi távolságra alakulnak ki a mederfenéken. Hasonló eredményre jutott Hey (1976), mivel szerinte ez a távolság a mederszélesség 2π -szerese. Ezek az adatok arra utalnak, hogy a vízhozam csökkenésének hatására a mederszélességgel együtt a kanyarulatok távolsága is csökken, vagyis növekszik a kanyargósság mértéke. Ackers (1982) azonban felhívja a figyelmet, hogy habár a hullámhossz nagymértékben függ a vízhozamtól, a közöttük lévő kapcsolat összetett, nincs egyetlen egyenlet,

¹ A kutatást az OTKA 62200 és 68897 pályázatai támogatták.

amivel megfelelően leírható, habár több kutató készített számításokat a hullámhossz-vízhozam kapcsolatának meghatározására (Dury 1961; Carls ton 1965; Ferguson 1975; Williams 1978).

Számos kutató tanulmányozta a vízhozam növekedésének hatását a vízfolyásokra, a Jangce folyón például az erózió mértékének és a meder szélességének növekedését okozta (Li et al. 2007), az árvizek nagyságának növekedése pedig szintén mederszélesség növekedést okozott a Luangwa folyón (Gilvear et al. 2000). A mederszélesség növekedés mellett a vízhozam növekedése okozhat bevágódást és mederpáncél kialakulását is (Montgomery és Buffington 1998). Duzzasztóépítés hatására bekövetkező vízhozam csökkenést vizsgált Richards és Wood (1977) és azt tapasztalták, hogy a gátépítés ellenére az árvizek szintje növekedett a városokból történő gyorsabb lefolyás miatt. A vízhozam kisebb változékonysága és a legnagyobb vízhozamok csökkenése mellett a vegetáció képes megtelepedni a mederközepi- és az övzátonyokon, ezért a mederszélesség csökkenését okozza (Martin és William 1987; Friedman et al. 1996). Ezzel szemben Bradley és Smith (1977) azt tapasztalta, hogy a vízhozam csökkenése a mederszélesség és a partelmozdulás mértékének növekedését okozza. Lane és Richard (1977) megállapította, hogy a vízhozam-változás hatása a meder pillanatnyilag fennálló morfológiai állapotától függ, ezért minden folyó eltérő módon reagál a hidrológiai paraméterek változására, Hooke (1997) pedig azt tapasztalta, hogy a vízfolyásokon a vízhozamváltozásra bekövetkező változás jellege függ a folyórendszer belső (in)stabilitásától és attól is, hogy milyen mértékben képes alkalmazkodni a változásokhoz, tehát egy adott folyószakasz vagy környezet érzékenységétől. Számos kutatás foglalkozott a különböző vízhozamok (kiszvízi, középvízi, mederkitöltő, legnagyobb) mederformáló képességével is. A legtöbben a mederkitöltő vízhozamot tartják a legfontosabbnak a mederformálódásban (Dury 1961; Williams 1978; Page et al. 2005; Gautier et al. 2006), azonban a hosszantartó kiszvízes időszakoknak is nagy jelentősége lehet a hordalékszállításban és a meder bevágódásában (Kiss és Sipos 2007).

Magyarországon a 20. század közepe óta több folyónál tapasztalták a mederszélesség csökkenését, amit például a Maroson klímaváltozás hatására bekövetkező medermintázat-változás (Sipos 2006), a Dunán duzzasztó-építés (Szabó 2006), vagy a Tiszán parbiztosítási művek építése okozott (Kiss et al. 2008). A légifotók azonban az alig szabályozott Hernád esetében is intenzív mederszűkülést és a kanyargósság növekedését mutatják. A bemutatásra kerülő kutatás célja a hidrológiai változások vizsgálata és a megváltozott hidrológiai paraméterek hatására bekövetkező morfológiai változások értékelése. A vizsgálatokhoz a Hernád két magyarországi szakaszán légifotók alapján meghatároztuk a legfontosabb morfológiai paramétereket és elemztük a hidrológiai paraméterek változását.

2. Mintaterületek

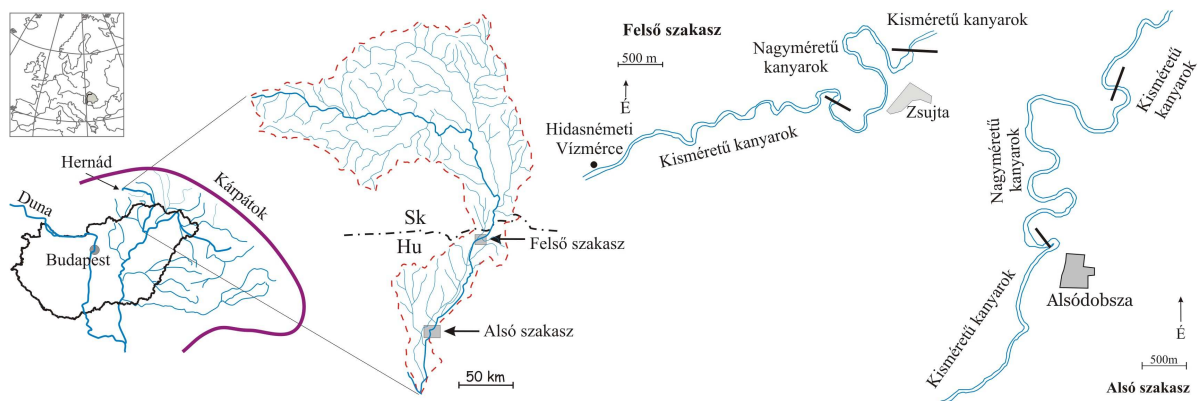
A Hernád vízgyűjtője a Kárpát-medence északi részéről gyűjti össze a vizeket, s végső soron a Tisza vízgyűjtőjének ÉNY-i részén helyezkedik el és a Duna vízgyűjtő terület középső szakaszához tartozik. A vízgyűjtő területe 5436 km², mely két ország területét érinti, Szlovákia területén található 4427 km², Magyarországon pedig 1013 km² területet foglal el. A folyó teljes hossza 294 km, amiből Szlovákia területéhez 186 km, Magyarországhoz pedig 108 km. A Hernád vízgyűjtőjének legmagasabb pontja a Gölnic/Hnilec-patak forrásának közelében 1943 m A.f., a legalacsonyabb pedig a torkolatnál 100 m A.f. található (Szabó 1996).

A Hernád magyarországi szakaszának átlagos esése 55 cm/km (0,00055). A hordalékszállítás jellemzője a vízhozamhoz viszonyítva aránytalanul sok lebegtetett hordalék (Hidasnémetinél 820000 t/év) és a rendkívül nagy, szélsőséges hordaléktöménység (max. 29000 g/m³), ugyanakkor igen nagy a görgetett hordalékszállítás volumene is (6000 t/év) (Bogárdi 1971). A fenti okok miatt a Hernád magyarországi szakaszát rendkívül erős kanyargási hajlam jellemzi (Laczay 1973). A folyó medre a gyakori helyzetváltoztatás miatt alig beágyazott, így nagyobb árvizek idején könnyen átvált egy korábbi medrébe (Bendefy L. 1973).

A Hernád magyarországi szakaszának vízjárását leginkább a szlovákiai vízgyűjtőrészről érkező vizek határozzák meg. A vízjárás alakulásában jelentős szerepe van a szlovákiai mellékfolyóknak. A magyar szakaszon csupán néhány kisebb mellékfolyó csatlakozik a Hernádba mintaterületek felett (pl. Csenkő- és Bélyus-patak), így azok vízjárásának és víztöbbletének nincsen jelentős hatása vizsgált szakaszok kanyarulati viszonyaira (RBMP 2006). A folyó vízjárására jellemző, hogy a maximumok március-áprilisban alakulnak ki, amit a tavaszi hóolvadással együtt járó csapadékok okoznak, a minimumok szeptember-októberben jellemzőek (Csoma 1973).

A vízjárást azonban módosítják az emberi beavatkozások. A vízjárásra hatást gyakorló tényezők a folyó szlovákiai szakaszán található víztározók (3 fő víztározó, melyek együttes kapacitása 73 millió m³), az árvízvédelem (a töltésezés, partbiztosítás, mederátvágások módosítják a lefolyás sebességét) és az urbanizáció. A Hernád medence szlovákiai területén népsűrűség 2001-ben 158 fő/km² és itt található Szlovákia második és harmadik legnagyobb városa (Kassa és Eperjes/Kosice és Presov), míg a magyarországi szakaszon a népsűrűség csupán 80 fő/km² és a vízgyűjtő ezen része falusias jellegű (RBMP et al. 2006). A települések (elsősorban az említett két nagyváros) hatása a vízjárásra elsősorban az ipari és lakossági vízkivétel és a szennyvízbevezetés révén érvényesül.

A vizsgálatokat a magyarországi folyószakasz két szakaszán végeztük (1. ábra). A felső szakasz Hidasnémetitől északra helyezkedik el, 98,5 fkm és 107 fkm között, az alsó folyószakasz Alsódobszától északra helyezkedik el 36 fkm és 42,5 fkm között. A mederanyag a két szakaszon különböző, hiszen míg a felső szakaszon az átlagos szemcse átmérő 5-28 mm, addig az alsó szakaszon 11-16 mm között változik, a partanyag pedig 0,05-0,12 mm a felső szakaszon és 0,05-0,09 mm az alsó szakaszon (Csoma 1973). eltérő a folyószakaszok esése is, a felső szakasz átlagos esése 62,8 cm/km (0,00063), az alsó szakaszon pedig 47,4 cm/km kisvízkor (0,00047). A vizsgált folyószakaszok nagyrészt szabályozatlannak tekinthetők, mivel az alsó szakaszon szabályozási művek nem épültek, és a 8,5 km hosszú felső szakaszon is csupán 600 m hosszan épült partbiztosítás, és egyéb szabályozási munkát nem végeztek. A két szakasz közti gibárti és felsődobszai duzzasztásoknak is lehet hatása a mederformálódásra, de ezek a 20. sz. elején épültek és sokkal kisebbek, mint a szlovákiaiak.



1. ábra: A Hernád két magyarországi szakaszát vizsgáltuk, amelyek tovább oszthatók a kanyarulatok nagysága alapján kis- és nagy tágasságú kanyarokkal jellemzett szakaszokra

3. Módszerek

3.1. Hidrológiai paraméterek vizsgálata

A hidrológiai paramétereket a hidasnémeti vízmérce adatai alapján vizsgáltuk, amely az országhatárhoz legközelebb, 97 fkm-nél található vízmérce, és amely az északi mintaterület alvizi végén található. A magyarországi szakaszon jelentős mellékfolyó nem ömlik a Hernádba, a rajta épült duzzasztók pedig csupán kis mértékben (elsősorban a kisvízes időszakokban) befolyásolják

a vízjárást, ezért ennek a vízmércének az adatai is jól jellemzik a Hernád magyarországi szakaszának hidrológiai jellemzőit.

A hidrológiai paraméterek számítását a napi (reggeli) vízállás és vízhozam idősorok alapján végeztük. A vízállás idősorok 1901-től, a vízhozam-adatok 1960-tól vannak (www.vizadat.hu). A számítások elvégzéséhez meghatároztuk a nevezetes vízhozam értékeket (*1. táblázat*), az évi legnagyobb és legkisebb vízállás és vízhozam értékeket. Hogy a morfológiai változások hidrológiai okait feltárjuk, a légifelvelelek között eltelt időszakokra kiszámítottuk a vízhozam és vízállás-tartósságokat.

Nevezetes vízhozam	Meghatározásának módja
Mederformáló vízhozam	1,5 éves visszatérési gyakoriságú vízhozam
Mederkitöltő vízhozam	Mederkitöltő vízálláshoz (225 cm) tartozó vízhozam
Középvízhozam (KQ)	Havi középvezekből számolt sokévi átlagos közép-vízhozam
Vízhozam/vízállástartósság	Adott vízhozamot/vízállást meghaladó napok százalékos előfordulása

1. táblázat: Hidrológiai paraméterek meghatározásának leírása

3.2. Morfológiai paraméterek vizsgálata

A kiválasztott két folyószakaszon a kanyarulatok morfológiai változásainak vizsgálatához légifotókat (1953, 1966, 1975, 1988, 1997 és 2002) használtunk. A felvételeket ErdasImagine8.6. szoftverrel korrigáltuk. A morfológiai változásokat leginkább jellemező paraméterek számítását a légifotókról digitalizált partvonalak alapján, ArcView3.1-ban végeztük.

A változásoknak az értékeléséhez megvizsgáltuk a kanyarulatok mintázatát leginkább jellemző paraméterek időbeni változását 1953- és 2002 között.

A mederszélességet (W) a partvonalak között, 100 m-enként a középvonalra húzott merőlegesek mentén mértük, amennyiben kisvizkor készült a légifotó (1953, 1975), a szárazon lévő övzátanyfelszíneket is a meder részének tekintettük. A középvonalat a digitalizált partvonalak alapján, a partvonalak közötti távolság felénél húztuk meg. Az inflexiós pontok helyzetét a kanyarulatok közti egyenes szakaszok felezőpontjaiban határoztuk meg. A kanyarulatok hosszát (L) az inflexiós pontok között a középvonal mentén mértük, a húr hossz (H) meghatározásához pedig az inflexiós pontok távolságát mértük meg. A amplitúdót (A) a középvonal és a húrra állított leghosszabb merőleges hosszaként határoztuk meg.

A paraméterek meghatározása után a két folyószakasz összehasonlításához a paraméterek átlagértékét használtuk, azonban mindkét szakaszon találhatóak kis- és nagyméretű kanyarulatok, ezért ezek átlagértékeit külön is kiszámítottuk, hogy fejlődésük különbségeit is vizsgálni tudjuk. A kisebb és a nagyobb méretű kanyarulatokkal jellemezhető szakaszok lehatárolásához az 1953-ban mért kanyarulathosszot vettük alapul, amelynek határértékét 400 m-ben határoztuk meg. A szakaszok határait az 1953-as állapot alapján határoztuk meg, és bár később a nagyméretű kanyarulatok felszabdaltak, a szakaszhatárokat végig megtartottuk, hogy fejlődésbeli különbségeik elemezhetőek maradjanak.

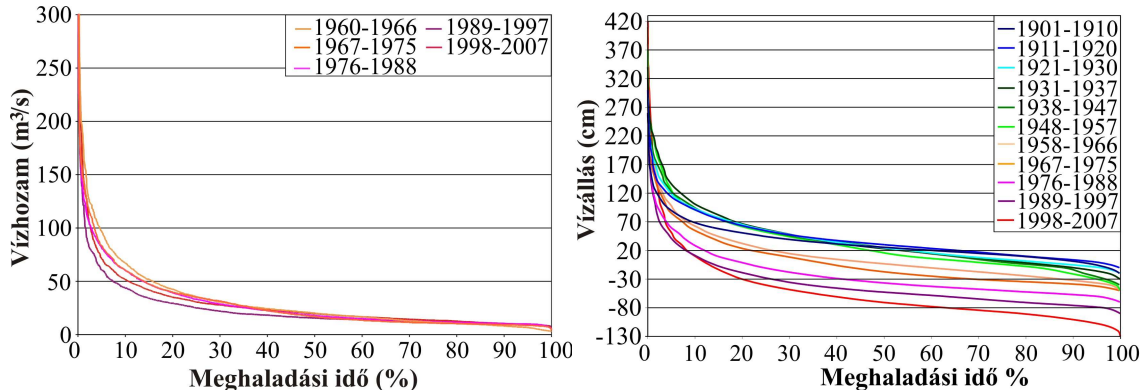
4. Eredmények

4.1. Hidrológiai paraméterek változása

A hidrológiai paraméterek közül a mederformálódás szempontjából meghatározó paraméterek változását vizsgáltuk, úgy, hogy az egyes légifotók készítése közötti időszakokat jellemeztük, így a morfológiai változások hidrológiai okai jobban feltárhatóvá váltak.

A **vízhozam-tartóssági görbék** alapján a 40 %-nál ritkábban előforduló vízhozamok előfordulási valószínűsége 1960 és 1997 között folyamatosan csökkent, majd 1997 óta kismértékben emelkedett (*2a ábra*). Ez annak köszönhető, hogy 1997 és 2007 között gyakoribbak voltak az

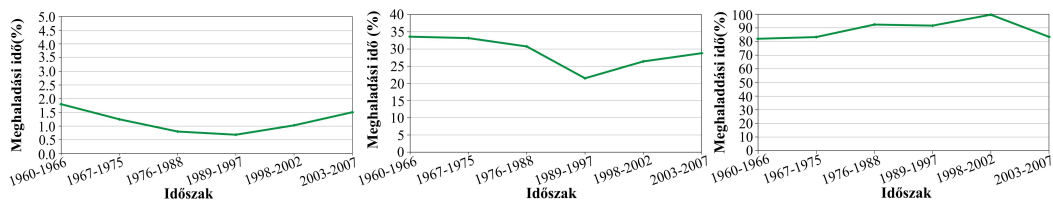
árvizek és főként az időszak második felében (2002-2007 között) magas vízállások voltak jellemzőek.



2. ábra: a) A vízhozam-tartósságok (1960-2007) és b) a vízállástartósságok (1901-2007) az egyes időszakokban

A **vízállás-tartósság görbéknél** (2b. ábra) azonban azt figyelhetjük meg, hogy az 1950-es évekig alig változtak, majd az 1960-as évektől a vízállás-tartóssági görbék folyamatosan lefelé tolódtak, vagyis az egyes vízállások előfordulási valószínűsége folyamatosan csökkent.

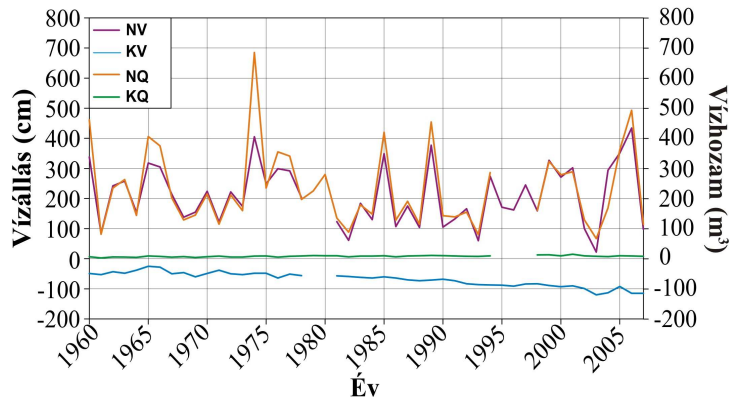
A **mederformáló vízhozamot** (145 m³/s) meghaladó vízhozamokat (3a. ábra) megvizsgálva megállapítható, hogy tartósságuk 1960 és 1997 között folyamatosan csökkent 1,8 %-ról 0,7 %-ra (61,9 %-os csökkenés). Az 1997 utáni időszakokban azonban növekedett a mederformáló vízhozamot meghaladó vízhozamok tartóssága 1,0 %-ra (1997-2002), majd 1,5 %-ra (2002-2007). Hasonló tendenciák figyelhetők meg a **közép-vízhozamot** (KÖQ: 28,2 m³/s) meghaladó vízhozamok tartósságában is, bár itt a megfigyelt változások kisebb mértékűek, az 1960-1966 időszakhoz képest 1988-1997-ra harmadával csökkent (33,6 %-ról 21,5%-ra) (3b. ábra). A **kisvizek** tartományában az előzővel ellentétes folyamatok figyelhetők meg. Az 1960-1966 közti időszakban a 10 m³/s-t vízhozamot az év 82,0 %-ban haladták meg a vízhozamok, míg 1997-2002 között már 99,6 %-ban (3c. ábra). A kisvizek hozamának növekedésére magyarázatot adhatnak a Szlovákiában épült duzzasztók, amelyek csökkenthetik a kisvizes időszakokban a vízhozam szélsőségeit.



3. ábra: a) a mederformáló vízhozamot b) a középvízhozamot és c) a kisvizet meghaladó vízhozamok időtartama az össz-időtartam %-ában

Megvizsgáltuk az évi legnagyobb és legkisebb vízállás értékek változását is, hogy elemezzük a szélsőséges hidrológiai helyzeteket. Az **évi legkisebb vízállás** (KV) értékek szintje a vizsgált időszakban egyre növekvő mértékben csökkent (4. ábra) és a vizsgált időszakok mindegyikében előfordult a korábnál kisebb vízállás. Míg az 1960-1966 időszakban előforduló legkisebb vízállás -53 cm volt, addig 2002 és 2007 közötti időszakban már -120 cm, ami 67 cm-es vízszintescsökkenést jelent 47 év alatt (-1,4 cm/év). Ugyanakkor az előbbieken láttuk, hogy az évi legkisebb vízhozamok (KQ) mennyisége nem csökkent, sőt kis mértékű növekedés figyelhető meg.

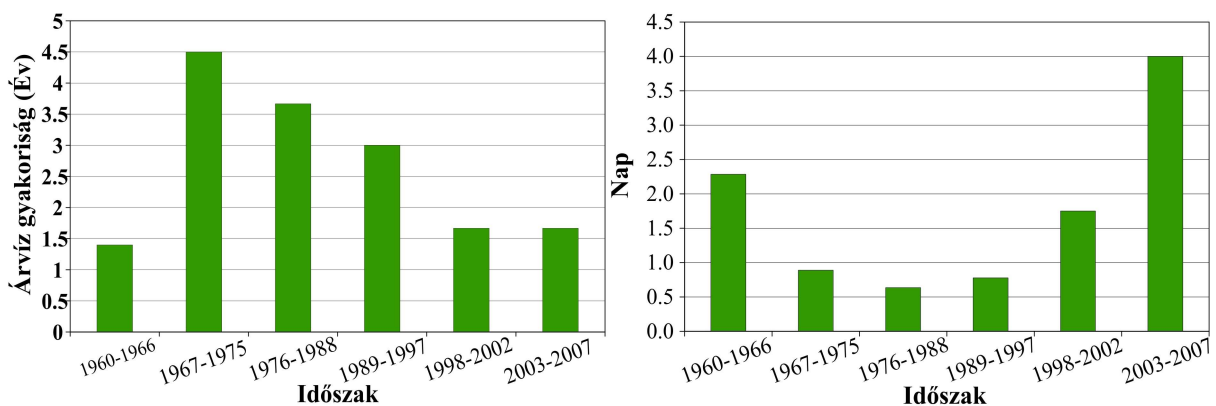
Az **évi legnagyobb vízállásokra (NV)** jellemző azonban, hogy szélsőségei növekedtek, mivel a NV maximumai növekedtek, míg minimum értékei csökkentek (1960-1966 között 84 cm és 338 cm között változott az éves nagyvíz szintje, 2002-2007 között pedig 24 cm és 434 cm között ingadozott). Az évi legnagyobb vízhozamok (NQ) változása jól követi az NV ingadozásait, ahhoz hasonlóan alakulnak.



4. ábra: Évi legnagyobb és legkisebb vízállások és vízhozamok alakulása 1960 és 2007 között

Az **árvizek előfordulási gyakoriságának** jellemzésére meghatároztuk, hogy az egyes időszakokban az hány évente fordult elő árvíz (5a. ábra) és évente átlagosan hány napig volt árvízi elöntés. Az árvizes évek előfordulása az első időszakban (1953-1966) volt a legnagyobb, ekkor 1,4 évente fordult elő árvíz, majd az 1966-1997 közötti időszakokban az árvizes évek gyakorisága nagymértékben lecsökkent, ekkor csupán 3-4,5 évente fordult elő. Ezt követően 1997-2007 között ismét gyakoribbak voltak az árvizes évek (1,6 évente).

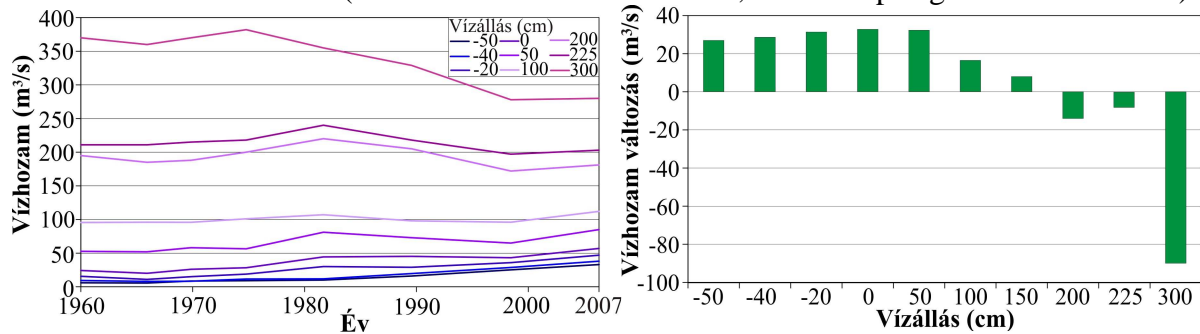
Eltérő képet mutat az éves árvízi napok száma az egyes időszakokban (5b. ábra). Az első időszakban (1953-1966) átlagosan évente 2,25 napig volt a vízállás a mederkitöltő szint felett. A következő időszakokban (1966-1988) az árvizes napok száma lényegesen lecsökkent (0,64-1,75 nap/év), és az árvizes évek előfordulási gyakorisága is a korábbinál kisebb. Azonban 1988 után az árvizes évek gyakorisága növekedett és vele együtt az árvizes napok száma is (4 nap/év).



5. ábra: (a) Az árvizes évek gyakorisága az időszakokon belül, és (b) az árvizes napok száma évente az egyes időszakokban

A vízhozamok és a vízállások változásainál megfigyelt különbségek miatt megvizsgáltuk, hogyan változtak az egyes **vízállásokhoz tartozó vízhozam** értékek a vizsgált időszakban (6ab ábra). Azt tapasztaltuk, hogy a kis és középvizek tartományában ugyanazokhoz a vízállásokhoz egyre nagyobb vízhozam értékek tartoznak (-50 cm-hez 1960-ban 6 m³/s, míg 2008-ban 33 m³/s).

Nem változott jelentősen 100-200 cm-es vízálláshoz tartozó vízhozam értéke, míg a nagyvizek tartományában (mederkitöltő vízállás felett) ugyanazokhoz a vízállásokhoz egyre kisebb vízhozam értékek tartoztak (300 cm-hez 1960-ban 370 m³/s, 2008-ban pedig már csak 280 m³/s).



6. ábra: (a) Az egyes vízállásokhoz tartozó vízhozamok változása 1960-2007 között, (b) Adott vízálláshoz tartozó vízhozam abszolút változása 1960 és 2007 között

4.2. Morfológiai változások a vizsgált mintaterületeken

A vizsgált folyószakaszokon elkülöníthetők kisebb és nagyobb kanyarulattal jellemzett szakaszok, amelyek az elmúlt fél évszázad alatt jelentős morfológiai változásokon estek át (7.a-b ábra, 2. táblázat). A változások mértéke és iránya sem térben, sem időben nem egyenletes, a nagyobb méretű kanyarulatok átalakulása különbözik a kisebbektől, ráadásul a két vizsgált szakasz is eltérő módon reagál a hidrológia paraméterek fent leírt változásaira. Ezért az alábbi elemzésben először a szakaszokra jellemző kanyarulati paraméterek átlagértékeit elemezzük, amelyek a szakaszra jellemző általános változásokat jól mutatják, azonban elfedik a nagy- és kis méretű kanyarokra jellemző különbségeket. Ezért mindkét szakaszon kiszámítottuk nagy- és kis méretű kanyarokhoz tartozó paraméterek átlagértékeit is és ezeket külön is megvizsgáltuk (3. táblázat).

	Felső szakasz						Alsó szakasz					
	morfológiai paraméter (m)						morfológiai paraméter (m)					
	L	H	L/H	A	W	L/W	L	H	L/H	A	W	L/W
1953	331	225	1,42	83	60	5,5	498	365	1,37	128	75	6,7
1966	323	217	1,38	79	60	5,4	501	372	1,34	158	85	5,9
1975	317	212	1,41	75	46	6,9	504	296	1,70	159	57	8,9
1988	253	195	1,23	53	48	5,2	389	249	1,56	105	47	8,3
1997	241	189	1,25	55	44	5,5	410	253	1,62	115	37	10,9
2002	226	177	1,23	54	37	6,2	401	248	1,61	117	41	9,8

2. táblázat: A meander paraméterek átlagértékei a vizsgált folyószakaszokon 1953-2002 között.,
 L: kanyarulathossz, H: húr hossz, L/H: kanyargósság A: amplitúdó, W: szélesség, L/W:
 kanyarulathossz és a szélesség aránya

	kisméretű kanyarulatok, morfológiai paraméter (m)										nagy méretű kanyarulatok, morfológiai paraméter (m)									
	Felső szakasz					Alsó szakasz					Felső szakasz					Alsó szakasz				
	L	H	L/H	A	W	L	H	L/H	A	W	L	H	L/H	A	W	L	H	L/H	A	W
1953	234	198	1.18	34	52	291	235	1.24	72	51	513	298	1.72	154	61	568	408	1.39	146	97
1966	244	183	1.33	46	63	268	239	1.12	82	66	430	263	1.63	113	59	569	394	1.44	184	96
1975	261	185	1.41	62	45	342	230	1.48	106	52	404	255	1.59	90	45	544	312	1.74	172	59
1988	222	176	1.26	52	52	335	224	1.50	103	40	281	213	1.32	64	50	398	253	1.57	105	51
1997	237	180	1.32	58	43	354	232	1.52	114	35	241	192	1.25	61	41	409	254	1.61	113	38
2002	245	181	1.35	55	29	342	207	1.65	111	38	221	179	1.23	53	34	411	255	1.61	119	42

3. táblázat: A meander paraméterek átlagértékei a kis- és nagyméretű kanyarulatokban a vizsgált folyószakaszokon 1953-2002 között. L: ívhossz; H: húrhossz; A: amplitúdó; W: szélesség

A **kanyarulatok hossza** mutatja a legszembetűnőbb tér- és időbeli változásokat. A **kanyarulatok átlagos hosszúsága** az 1953 és 2002 közötti időszakban a felső szakaszon -31,6 %-kal, az alsó szakaszon 19,5 %-kal csökkent.

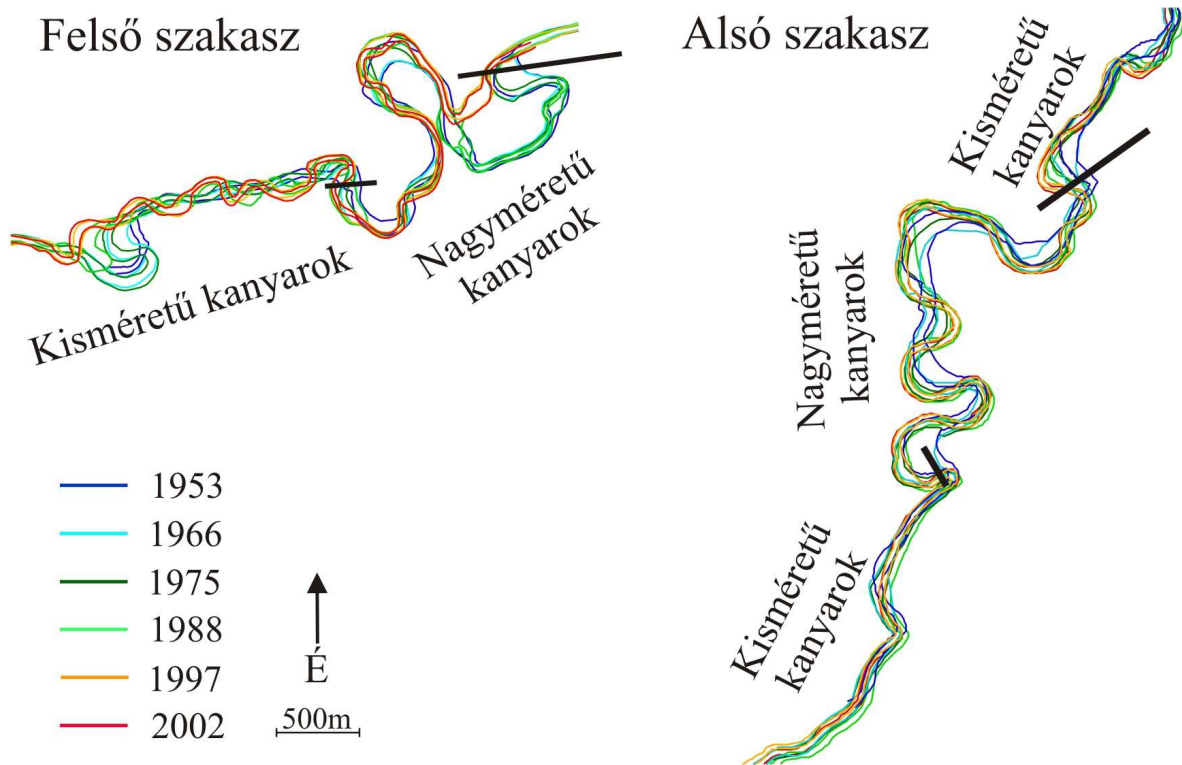
A felső szakaszon a teljes vizsgált időszakban az átlagos kanyarulathossz csökkenése zajlott, melynek mértéke a 0,5-4,9 m/év között változott. A változás legintenzívebb időszakai 1975-1988 és 1997-2002 között voltak: a legnagyobb kanyarulathossz csökkenés 1975-1988 között történt (-4,9 m/év), míg 1997-2002 között -2,9 m/év volt (8a. ábra). Az alsó-szakaszt összetettebb változások jellemezték (8b. ábra), mivel itt 1953 és 1975 között az átlagos kanyarulathossz kismértékű növekedése zajlott (+0,2-0,3 m/év). Az ezt követő időszakban (1975-1988) azonban a kanyarulathossz rendkívüli mértékű csökkenése figyelhető meg (-8,8 m/év), mivel a nagyméretű kanyarulatokban a másodlagos kanyarulatok ekkora fejlődtek önálló kanyarulatokká és a korábbi nagy kanyarulatok helyett több kisebb kanyarulat jött létre. A következő időszakban (1988-1997) ismét a kanyarulathossz növekedése figyelhető meg (mértéke 2,3 m/év), mivel a kialakult új kanyarulatok fejlődésével kanyarulathosszuk nőtt, majd 1997 és 2002 közötti időszakban ismét csökkent az átlagos kanyarulathossz.

Ugyanakkor a szakaszokon belül a nagy és kisméretű kanyarok átalakulása nem volt egyforma. Az első légifelvétel készítésének időpontjában, 1953-ban mindkét mintaterület középső szakaszán előfordultak nagyméretű kanyarulatok, melyeknek a kanyarulati hossza a felső mintaterületen elérte az 1030 m-t, míg az alsó mintaterületen 853 m volt. Mindkét mintaterületen a nagyméretű kanyarulatokon a vizsgált időszakban a hossz jelentős csökkenése figyelhető meg, felső szakaszon 57 %-kal csökkent 513 m-ről 221 m-re, az alsó szakaszon 27,6 %-kal 568 m-ről 411 m-re. A paraméterek változása másodlagos hurkok létrejöttét jelzi 1953 és 1975 között, melyek 1988-ra önálló kanyarulatokká alakultak. Az összetett kanyarulatokat addig tekintettük egy kanyarulatnak, amíg a kanyarulati ívén létrejött másodlagos ívek Laczay (1982) rendszerében álkanyarulat kategóriába sorolhatók. Mivel ily módon a nagy kanyarulatok átalakultak, a kanyarulathossz is jelentősen lecsökkent: a felső szakaszon a legnagyobb kanyarulat hossza 2002-re 630 m-re csökkent, míg az alsó szakaszon 805 m-re. Ezzel szemben a kisméretű kanyarulatok kanyarulathossza kis mértékben növekedett: a felső szakaszon 234 m-ről 245 m-re (4,4 %), az alsó szakaszon pedig 291 m-ről 342 m-re (17,7 %). Így 2002-re mindkét folyószakaszon nagyrészt hasonlóvá vált a kisméretű kanyarulatok hossza (9 a-b ábra).

A kanyarulatok átlagos **húrhossza** 1953 és 2002 között mindkét vizsgált folyószakaszon csökkent, 21,3 %-kal a felső, és 31,9 %-kal az alsó mintaterületen. A változások mértéke azonban – hasonlóan a kanyarulathossz változásához – egyik folyószakaszon sem volt egyenletes.

A felső szakaszon a teljes vizsgált időszakban az átlagos húrhossz csökkenése zajlott, melynek mértéke a 0,6-2,4 m/év között változott (8.a ábra). A változás legintenzívebb időszaka 1975 után következett be, míg 1975 és 1988 között -1,3 m/év, addig 1997-2002 között az átlagos húrhossz csökkenésének mértéke már -2,4 m/év volt. Az alsó szakaszon az előzőnél dinamikusabb változások zajlottak a vizsgált időszakban (8.b ábra), hiszen a jelentős húrhossz csökkenés (1966-1975: -8,4 m/év) mellett az átlagos húrhossz növekedése is megfigyelhető (1953-1966: +0,5 m/év). Azonban a húrhossz növekedés mértéke lényegesen kisebb volt, ezért az 1953-2002 közötti teljes időszakban jelentős mértékű (2,4 m/év) totális hosszcsökkenés történt.

Az átlagos húrhossz, a nagyméretű kanyarulatoknál a felső szakaszon 39,9 %-kal (298 m-ről 179 m-re), az alsó szakaszon 37,5 %-kal (408 m-ről 255 m-re) csökkent. A kisméretű kanyarulatoknál az átlagos húrhossz szintén csökkent, ennek mértéke azonban lényegesen kisebb mindkét szakaszon: a felső szakaszon 8,9 %-os (198 m-ről 181 m-re), míg az alsó szakaszon 11,7 %-os volt a húrhossz csökkenésének mértéke (234,5 m-ről 207 m-re).

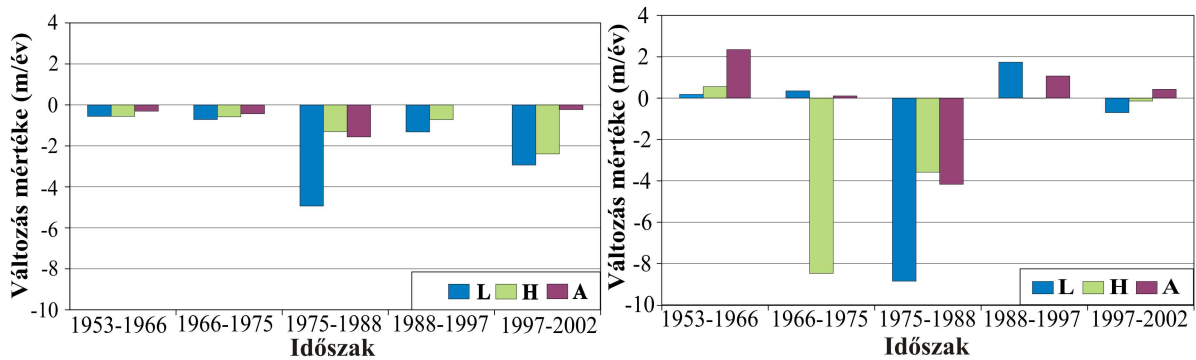


7. ábra: A partvonal futásának változása 1953-2002 között a) a felső szakaszon és b) az alsó szakaszon.

A húrhosszak és a kanyarulathosszak változásával párhuzamosan változott a szakaszok **kanyargóssága** is, azonban a két folyószakasz meglehetősen eltérően viselkedett a vizsgált időszakban: míg a felső szakasz kanyargóssága végső soron csökkent 13,4 %-kal, addig az alsó szakasz kanyargóssága összességében nőtt (18,2 %-al). Bár ez egyik mintaterületen sem volt egyirányú folyamat, inkább ritmusosan változott, bár mintaterületenként ugyanakkor voltak a kanyargósság növekedésének időszakai (1966-1975 és 1988-1997).

A felső szakaszon a legnagyobb mértékű változás 1975 és 1988 között zajlott, amikor intenzív kanyargósság csökkenés következett be (1,41-ről 1,23-ra csökkent), és az ezt követő időszakban ez az alacsony kanyargósság vált jellemzővé. Az alsó szakaszon a kanyargósság legnagyobb szintén 1975-ben volt (1,7), de 1988-ig csökkenése kisebb mértékű, mint a felső szakaszon.

A kanyargósság változása azonban nemcsak a két folyószakaszon volt különböző, hanem a kis- és nagyméretű kanyarok is eltérően viselkedtek mindkét folyószakaszon: a felső szakaszon a nagyméretű kanyarulatoknál a kanyargósság folyamatos csökkenése zajlott, a kisméretű kanyarulatoknál pedig 1953 és 1975 között növekedés volt (1,18-ről 1,41-re), majd 1988-ra lecsökkent (1,26), végül 1988 és 2002 között ismét növekedett. Az alsó szakaszon ezzel szemben a nagyméretű kanyarulatok esetében volt a felső szakasz kisméretű kanyarulataihoz hasonló ingadozás (1953-1975-ig 1,39-ről 1,74-re növekedett, 1988-ig 1,57-re csökkent, végül 1988-2002-ig 1,61-re növekedett), a kisméretű kanyarulatoknál pedig folyamatosan növekedett a kanyargósság (1953-2002 között 1,24-ről 1,65-re).



8. ábra: A mederparaméterek (H, L, A) átlagos éves változása a vizsgált időszakokban a) a felső és b) az alsó szakaszon

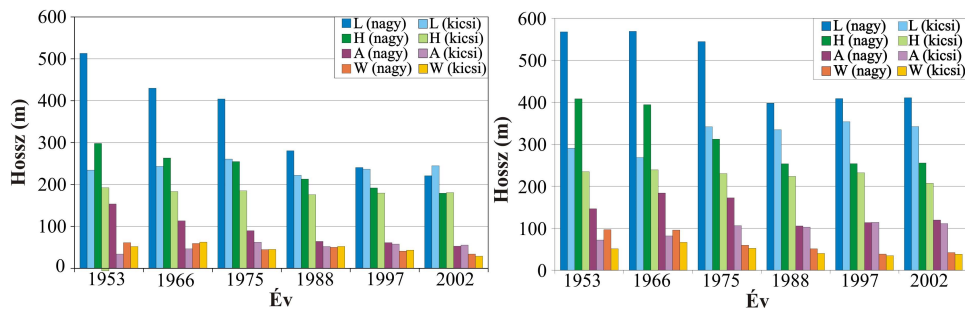
Az amplitúdó a húrral és az ívhosszal együtt vizsgálva megmutatja, hogy a kanyarulatok milyen módon alakultak át, ezért megvizsgáltuk, hogyan alakult a kanyarulatok **amplitúdója** a szakaszokon. A felső szakaszon – a többi kanyarlati paraméterhez hasonlóan – az átlagos amplitúdó folyamatos csökkenése tapasztalható 1953 és 2002 között: átlagos értéke 83 m-ről 54 m-re csökkent (35,3 %-kal, évente -1,6–0 m/év). Az amplitúdók változása a teljes vizsgált időszakban az alsó szakaszon nem volt jelentős, mindössze 8,6 %-kal csökkent 128 m-ről 117 m-re, azonban a vizsgált időszakban jelentős változások zajlottak. Az 1953 és 1975 közötti időszakban az amplitúdó növekedése tapasztalható (mértéke 2,3-0,1 m/év). Ez az átlagos amplitúdó 24,7 %-os növekedését jelenti, így ekkorra elérte a 159 m-t. A következő időszakban (1975-1988) a második kanyargási fázis kialakulása miatt az amplitúdó jelentős mértékű (-4,2 m/év) csökkenése zajlott, majd 1988-2002 között kis mértékű növekedés figyelhető meg (1,1-0,4 m/év).

Az átlagos **amplitúdó** a nagyméretű kanyarulatoknál a felső szakaszon folyamatosan csökkent 154-ről 53 m-re (65,6%-kal), míg az alsó szakaszon 146 m-ről 119 m-re (18,4%-kal). Azonban az alsó szakaszon a csökkenés nem volt egyenletes, hiszen míg 1953-1966 között növekedett az amplitúdó 184 m-re (25,7%-kal), addig 1966-2002 között 35 %-kal csökkent. A kisméretű kanyarulatoknál mindkét szakaszon az amplitúdó növekedése figyelhető meg: a felső szakaszon 34 m-ről 55 m-re (63,4%), az alsó szakaszon 72 m-ről 111 m-re (54,2%). Így a kis- és nagyméretű kanyarulatokra vonatkozó átlagértékek – a húrhosszhoz hasonlóan – szintén kiegyenlítődték (9a-b ábra).

A vizsgált időszakban a **mederszélesség** jelentős mértékű csökkenése zajlott le mindkét folyószakaszon, melynek mértéke a két szakaszon 1953 és 2002 közötti időszakban hasonló mértékű volt (felső szakasz: 39 %; alsó szakasz: 45 %), azonban mederszélesség csökkenésének mértéke az egyes időszakokban és folyószakaszokon eltérő volt. A felső szakaszon 1966-ig nem változott az átlagos mederszélesség, majd 1966 után folyamatosan csökkent. A szűkülés mértéke 1,5 m/év (1966-1975) és 0,2 m/év (1975-1988) között változott. Az alsó szakaszon bár összességében szűkülés jellemző, de voltak időszakok, amikor a mederszélesség nőtt: 1953-1966 valamint 1997-2002 között a mederszélesség ki mértékű növekedése figyelhető meg (0,76-0,78 m/év), míg 1966 és 1997 között a meder szűkült (-0,8 és -3,1 m/év közötti sebességgel).

A kis- és nagyméretű kanyarulatok mederszélesség változásában a felső szakaszon nem tapasztalható nagy különbség, mivel mindkét típusnál összességében csökkenés zajlott, melynek mértéke is közel azonos volt (1953-2002 között a kisméretű kanyaroknál 44,1%-kal, a nagyméretű kanyaroknál 44,5%-kal csökkent), azonban a kisméretű kanyaroknál nem volt folyamatos a mederszélesség csökkenés, inkább ritmusosan változott. Az alsó szakaszon is csökkenés zajlott mind a nagyméretű, mind a kisméretű kanyaroknál, de eltérő mértékben (1953-2002 között a kisméretű kanyaroknál 25,5%-kal, a nagyméretű kanyaroknál 56,4%-kal csökkent).

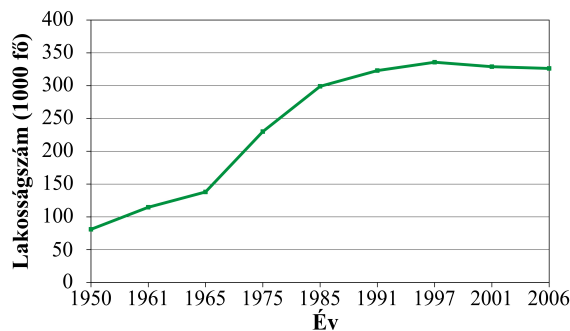
A változások iránya hasonló a felső szakaszhoz, mivel a nagyméretű kanyaroknál folyamatos csökkenés zajlott, a kisméretű kanyaroknál pedig inkább ritmusosan változott.



9. ábra: Az átlagos mederparaméterek (L, H, A, W) változása a kis- és nagyméretű kanyarulatokban a vizsgált időszakban a) a felső szakaszon és b) az alsó szakaszon

4.3. A hidrológiai és morfológiai paraméterek változásának értékelése

Az **1950-es évek közepéig** (1956-57) a hidrológiai paraméterek nem változtak lényegesen vízállástartósságok alapján. A vizsgált időszakban ekkor mérték a legnagyobb mederformáló és középvízhozamokat, amelyekhez a morfológia alkalmazkodott. Így a meder viszonylag széles volt, és a vizsgált szakasz változatos morfológiájú, hiszen mindkét szakaszon előfordultak nagy és kisebb méretű kanyarok is. Az **1950-es évek közepétől (1956-57) 1997-ig** a hidrológiai paraméterek jelentős változása figyelhető meg, ami a csökkenő vízállás-, mederformáló és a középvízi vízhozam tartósságok mellett, az árvizes évek és árvizes napok gyakoriságának növekedésében és az évi legnagyobb vízállások szélsőségesebbé válásában is megmutatkozik. A hidrológiai paraméterek változásának oka lehet a csapadékmennyiség változása, valamint az 1960-as évek közepétől megfigyelhető intenzív urbanizáció a Hernád völgyének szlovákiai szakaszán, az ennek következtében megnövekvő mezőgazdasági és ipari termelés és az ezekkel összefüggő vízkivétel és szennyvízbevezetés, valamint a duzzasztók építése (1956, 1968 és 1972), habár ezekre vonatkozó pontos adatsorokkal (Kassa és Eperjes lakosságszámán (10. ábra) kívül) Szlovákiából nem rendelkezünk.



10. ábra: Kassa és Eperjes együttes lakossága 1950-2006 között
 (adatok forrása: www.populstat.info/Europe/slovakit.htm)

A hidrológiai paraméterek a Hernád vizsgált szakaszain a morfológia átalakulására is utalnak. A **meder bevágódott**, amit a vízállás-vízhozam kapcsolatok (ugyanaz a kis vízhozam egyre kisebb vízszinttel vonul le) is mutatnak. Ezért a korábban kialakult övzátányok a középvíznél magasabb szintre kerültek, így lehetővé vált rajtuk a növényzet meglepedése, aminek következtében a **mederszélesség csökkent**. Hasonló folyamatokat írt le Martin és William (1987) és Friedman et al. (1996). Míg 1953-ban a mederszélességre jellemző volt, hogy a kanyarulatok csúcsában kiszélesedett és nagy különbség volt a legnagyobb és legkisebb

mederszélesség között (a felső szakaszon 28-174 m között, az alsó szakaszon 24-200 m között változott), 2002-re az átlagos mederszűküléssel párhuzamosan a mederszélesség a kanyarulatok csúcsában és az inflexiós szakaszok között egységesebbé vált, (a felső szakaszon 20-98 m között, az alsó szakaszon 29-97 m között változott). A bevágódással párhuzamosan a nagyvizi meder szűkült, amit jelez a mederszélesség csökkenése és a mederkitöltő vízszinthez tartozó egyre kisebb vízhozam értékek is, ami a mederszelvény területének csökkenését mutatja.

A hidrológiai egyensúly megbomlása miatt a **kanyarulatmintázatban** is változások indultak el, amelyekre a két vizsgált szakasz, illetve azok kis- és nagyméretű kanyarulatai is eltérő módon reagáltak. A nagyméretű kanyarulatokon mindkét folyószakaszon másodlagos hurkok alakultak ki 1953 és 1975 között, melyek 1988-ra önálló, de kisebb kanyarulatokká alakultak, így morfológiai paramétereik nagymértékben megváltoztak (csökkent a kanyarulatok hossza, a húr hossz és az amplitúdó is). A kis méretű kanyarulatoknál tapasztalt változások sokkal kisebb mértékűek és eltérő típusúak voltak, mivel ezeknél a morfológiai paraméterek (L, A) kismértékű növekedése zajlott. A kanyarulatmintázat átalakulásának következményeként az 1953-ban meglévő különbség a kis és nagyméretű kanyarulatok között 2002-re szinte teljes mértékben megszűnt, a kialakult új mintázat egységesebb és valószínűleg jobban alkalmazkodik a megváltozott hidrológiai paraméterekhez.

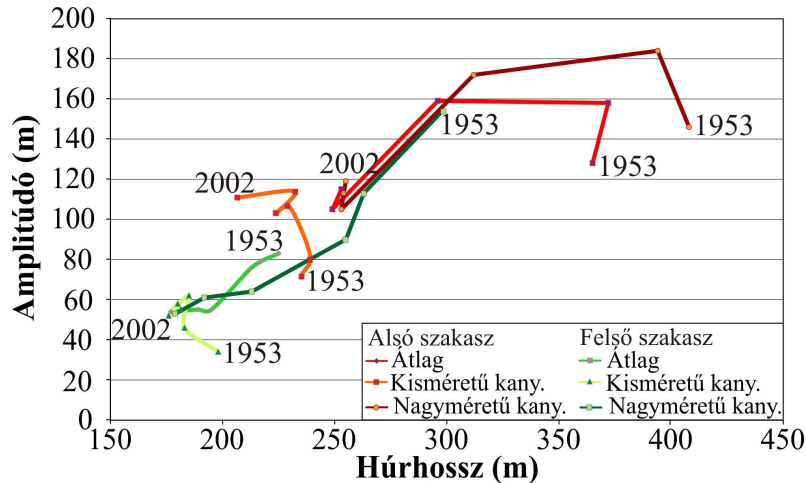
A két szakasz között is voltak azonban különbségek, ami elsősorban a nagyméretű kanyarulatok fejlődésénél szembevetendő, ugyanis a felső szakaszon hamarabb, már 1953 és 1966 között elkezdődött a nagyméretű kanyarulatok átalakulása, és ebben a fejlődési fázisban minden paraméter folyamatosan lecsökkent. Ennek oka lehet, hogy itt a vizsgálati időszak elején a legnagyobb kanyarulat hossza meghaladta az alsó szakasz kanyarulatainak hosszát, így feltehetően közelebb állt a határértékhez, ezért a hidrológiai paraméterekben bekövetkező kisebb mértékű módosulások hatására is elindult a kanyarulatmintázat átalakulása. Azonban nem csupán a kanyarulatmintázat változás idejében vannak különbségek, hanem annak mértékében is. A felső szakaszon az átlagos kanyarulathossz és az amplitúdó csökkenésének mértéke közel kétszerese az alsó szakaszon tapasztalhatónak, így itt a kis és nagyméretű kanyarulatok közti különbség teljesen megszűnt. Az alsó szakaszon ezzel szemben a vizsgált időszak végén, 2002-ben is találhatóak még nagyobb méretű kanyarulatok, tehát a kanyarulatok nem váltak annyira egységessé. Ennek oka lehet, hogy a felső szakasz mederanyaga durvább és esése is nagyobb, ezért az átalakulások gyorsabban és nagyobb intenzitással játszódhatnak le, mint a kisebb lejtésű és kötöttebb anyagú mederben. Ráadásul az alsó szakaszon a magasparti tömegmozgások aktivitása lényegesen nagyobb (Szabó 1996), így a folyó medrének alakváltozását lényegesen több "idegen" anyag befolyásolja, alkalmasint fékezi.

A kanyarulatmintázat átalakulásának folyamatát jól mutatja a **húr hossz és az amplitúdó kapcsolata** (11. ábra). A felső szakasz nagyméretű kanyarulatainak húr hossza folyamatosan csökkent és ezzel együtt az amplitúdó is. Csupán a két paraméter csökkenésének mértéke különbözött az egyes időszakokban, de jelentősebb változás a paraméterek arányában, azaz a kanyarulatok alakjában nem történt.

Az alsó szakaszon ezzel szemben összetettebb, több szakaszra osztható változások zajlottak. Az első időszakban (1966-ig) a kanyarulatok megnyúltak, miközben húr hosszuk nem változott jelentősen, majd (1966-1975) a kanyarulatok összeszűkültek (húr hosszuk csökkent az amplitúdó változatlan maradt), így 1975-re az amplitúdó és a húr hossz aránya hasonlóvá vált a felső szakaszon 1953-ban, a kiindulási állapotban a nagy kanyarulatokra jellemző állapothoz. A következő szakaszban (1975-1988) zajlott le a másodlagos kanyarulatok kialakulása, ekkor mindkét paraméter csökkent, a csökkenés mértéke és a paraméterek arányának változása pedig megegyezik a felső szakaszon 1953 és 1966 között. Az utolsó szakaszban (1988-2002) a kialakult új kanyarulatokban közel azonos húr hossz mellett az amplitúdó növekedése figyelhető meg, ami megegyezik korábbi kutatások eredményeivel (Hickin 1974, Brice 1974), amelyek arra a

következtetésre jutottak, hogy a kanyarulatfejlődés korai szakaszában a kanyarulatok inflexió pontjai helyben maradnak és megnyúlás jellemző rájuk.

A kis méretű kanyarulatok átalakulása kevésbé különbözött a két szakaszon, ugyanis mindkettőnél a húr hossz csökkenése és az amplitúdó növekedése figyelhető meg, vagyis a kanyarulatok megnyúltak (vagyis megváltozott hidrológiai körülmények között is "normálisan" fejlődnek).



11. ábra: A húr hossz és az amplitúdó kapcsolata

A leírt morfológiai változások (mederszűkülés és kanyarulatmintázat változás) következményeként a nagyvízi meder vízszállító képessége csökkent. Erre utal, hogy a nagyvízi vízállásokhoz tartozó vízhozam-értékek a vizsgált időszakban csökkentek, és ugyanaz a vízhozam egyre magasabb vízszinttel, egyre hosszabb árvizes időszakokn keresztül vonul le.

Az **1990-es évek végétől** a hidrológia viszonyok kezdtek visszatérni a kiindulási állapotba (az 1960-as években tapasztalható értékekhez). Megnövekedett a mederformáló és középvízhozam, az árvizes évek előfordulásának gyakorisága. A kanyarulatmintázat azonban nem képes azonnal követni a hidrológiai paraméterek változását, hatása a mintázatra az utolsó légifelvételkészítésének időpontjában (2002) még nem érvényesült. A kialakult morfológia mellett a hidrológiai paraméterek megváltozása az árvízi kockázat növekedését okozza, mivel árvizek levezetése lelassult és az árvizek magasabb vízállással tetőznek, hiszen a meder jóval kisebb vízhozamok levezetésére módosult.

5. Összegzés

A Hernád vizsgált, magyarországi szakaszain jelentős morfológiai változások zajlottak az elmúlt fél évszázadban, amelyeket a hidrológiai viszonyok jelentős mértékű módosulása okozott.

Az 1950-es évek végéig a hidrológia paraméterek hosszú távon fennálló egyensúlyi állapotokat tükröztek, hiszen a vízállásadatok tartóssági görbéi nem változtak jelentősen. Ehhez alkalmazkodott a medermorfológiai is: a Hernádot széles meder, változatos kanyarulati viszonyok jellemezték.

Az 1950-es évek végétől a hidrológiai egyensúly felborult: a vizek szintje alább szállt, a vízhozamok módosultak, a vízjárás szélsőségei nőttek. Ez a vízgyűjtő felsőbb részein bekövetkező lefolyásviszonyok módosulásával, a nagy szlovákiai városok intenzív fejlődésével és megnövekedett vízkivételével, a víztározók megépítésével és feltöltésével állhat kapcsolatban. A hidrológiai rendszer megváltozásával egyidőben a Hernád morfológia viszonyai is átalakultak, a meder a kisebb vízmennyiség levezetésére módosult: szűkült, a nagy kanyarulatokon másodlagos hurkok fejlődtek. Azonban a nagyobb esésű és durvább mederanyagú, csuszamlásokkal nem

érintett szakaszon ezek a változások jóval intenzívebbek, és a folyamatok egyirányúak voltak (a horizontális kanyarulati paraméterek folyamatos csökkenése), ez a szakasz érzékeny választ adott a változásokra. Hatalmas kanyarulata már valószínűleg ekkor is a vízhozam-szélesség-kanyarulathossz tekintetében a változás küszöbértékén állt, azaz a legkisebb változás is elég volt ahhoz, hogy másodlagos kanyarulatok jöjjenek rajta létre. Ezzel szemben a kisebb esésű, kötöttebb partanyagú szakaszon – bár a paraméterek csökkentek, és az intenzív csökkenési időszakok a felső és az alsó szakaszon egybeesnek – ciklikus változások történtek, azaz a rendszer némileg képes volt pufferolni az őt ért hatásokat. Így az alsó szakasz válasza a változásokra robosztusnak tekinthető, a folyó kanyarulatai viszonyai a morфомetriai küszöbértékek határán mozoghatnak.

A különböző vízhozamok (mederformáló és középvíz) az 1990-es évek végétől nőttek, az eredeti hidrológiai állapotok felé közelítenek. Ennek oka a szlovák városok népességyarapodásának megállása és a csatornázottság révén a Hernádba történő víz visszajuttatás megnövekedése lehet. Azonban ennek morfológiai következményei még nem jelentkeznek. Ugyanakkor az eddig kialakult morfológia az árvízi kockázat növekedését okozza, mivel árvizek levezetése lelassult és az árvizek magasabb vízállással tetőznek, hiszen a meder jóval kisebb vízhozamok levezetésére módosult.

Felhasznált irodalom

- Ackers P. 1982: Meandering channels and the influence of bed material. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.R. (eds): Gravel-bed rivers. Wiley, 339-421.
- Bendefy L. 1973: A Hernád Geomorfológiája. In: Vízrajzi Atlasz sorozat 16. – Hernád VITUKI, Budapest 16-19.
- Bogárdi J. 1971: Vízfolyások hordalékszállítása. Akadémiai Kiadó, Budapest 755.
- Bradley C., Smith, D.G. 1984: Meandering channel response to altered flow regime: Milk River, Alberta and Montana. Water Resources Research, 20/12, 1913-1920.
- Braga G., Gervasoni S. 1989: Evolution of the Po River: an example of the application of historic maps. In: Petts G.E., Moller H., Al R. (eds): Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe. Wiley, 113-126.
- Bravard J.P., Amoros C., Pautou G., Bornette G., Bournaud M., Creuze Des Chatelliers M., Gilbert J., Peiry J., Perrin J., Tachet H. 1997: River incision in south-east France: morphological phenomena and ecological effects. Regulated Rivers: Research and Management, 13, 75-90.
- Brice, J.C. 1974: Evolution of Meander Loops. Geological Soc. of Am. Bull. Vol. 85, apr. pp. 581-586.
- Capelly G., Miccadei E., Raffi R. 1997: Fluvial dynamics in the Castel de Sangro plain: morphological changes and human impact from 1875 to 1992. Catena, 30, 295-309.
- Carlston C.W. 1965: The relation of free meander geometry to stream discharge and its geomorphic implications. Am. Journal of Science, 263, 864-885.
- Csoma J. 1973: A Hernád hidrográfija. In: Vízrajzi Atlasz sorozat 16. – Hernád VITUKI, Budapest. 7-15.
- Dury G.H. 1961: Bankfull discharge: an example of its statistical relationships. Bull. Int. Ass. Scientific Hydrology, 6/3, 48-55.
- Ferguson R.I. 1975: Meander irregularity and wavelength estimation, Journal of Hydrology, 26, 315-333.
- Friedman J.M., Osterkamp W.R., Lewis W.M. 1996: The role of vegetation and bed-level fluctuations in the process of channel narrowing. Geomorphology, 14, 341-351.
- Gábris Gy. 1986: Alföldi folyóink holocén vízhozama. Alföldi tanulmányok 10, Békéscsaba, 35-52.
- Gábris Gy. 1995: A paleohidrológiai kutatások újabb eredményei. Földrajzi értesítő. 44/1-2, 101-109.
- Gautier E., Brunstein D., Vauchel P., Roulet M., Fuertes O., Guyot J. L., Darozzes J., Bourrel L. 2006: Temporal relations between meander deformation, water discharge and sediment fluxes in the floodplain of the Rio Beni (Bolivian Amazonia). Earth Surf. Processes and Landforms, 32/2, 230-248.
- Gilvear D., Winterbottom S., Sickingabula H. 2000: Character of channel planform change and meander development: Luangwa River, Zambia. Earth Surf. Process. Landforms 25, 421-436.
- Gurnell A.M. 1997: Channel change on the River Dee meanders, 1946-1992, from the analysis of air photographs. Regulated Rivers: Research and Management, 13, 13-26.
- Harmar O.P., Clifford, N.J. 2006: Planform dynamics of the Lower Mississippi River. Earth Surf. Processes and Landforms, 31, 825-843.
- Hey R.D. 1976: Impact prediction in the physical environment. In: O’Riordan T., Hey R.D. (eds.) Environmental Impact assessment. Saxon House, Farnborough, 71-81.

- Hickin, E.J. 1974: The Development of Meanders in Natural River-channels. *American Journal of Science*. 274, 414-442.
- Hooke J.M. 1997: Styles of Channel Change. In: Thorne C.R., Hey R.D., Newson M.D. (eds.) *Applied Fluvial Geomorphology for Engineering and Management*. Wiley, Chichester. pp. 237-268.
- Kiss T., Fiala K., Sipos Gy. 2008: Altered meander parameters due to river regulation works, Lower Tisza, Hungary. *Geomorphology*, 98/1-2, 96-110.
- Kiss T., Sipos Gy. 2007: Braid-scale geometry changes in a sand-bedded river: significance of low stages. *Geomorphology*, 84, 209-221.
- Lacza I. 1973: A Hernád kanyarulati viszonyai. In: *Vízrajzi Atlasz sorozat 16. – Hernád VITUKI*, Budapest 23-29.
- LACZAY I. 1982: A folyószabályozás tervezésének morfológiai alapjai. *Vízügyi Közlemények*. 64.2. 235-254.
- Lane, S.N., Richards, K.S. 1997: Linking river channel form and process: time, space and causality revisited. *Earth Surface Proc. and Landforms*, 22, 249-260.
- Langbein W.B., Leopold L.B. 1966: River meanders – theory of minimum variance. *USGS Prof. Paper*, 422H.
- Leopold L.B., Wolman M.G. 1960: River Meanders. *Bulletin of the Geological Society of America*, 71, 769-794.
- Leopold L.B., Wolman M.G. 1964: *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman, San Francisco, 522.
- Lewin J. 1972: Late-stage meander growth. *Nature Physical Science* 240, 116.
- Lewin J. 1977: Channel pattern changes. In: Gregory K.J. (ed): *River Channel Changes*. Wiley, 167-183.
- Li L., Lu X., Chen, Z. 2007: River channel change during the last 50 years in the middle Yangtze River, the Jianli reach. *Geomorphology* 85. 185-196
- Martin C.W., William C.J. 1987: Historical Channel Narrowing and Riparian Vegetation Expansion in the Medicine Lodge River Basin, Kansas, 1871-1983. *Annals of the Ass. of American Geographers*, 77/3, 436-449.
- Montgomery D.R., Buffington J.M. 1998: Channel processes, classification and response. In: Naiman R., Bilby R. (eds): *River ecology and management*, Springer-Verlag, New York, 13-42.
- Page K., Frazier P., Pietsch T., Dehaan R. 2007: Channel change following European settlement: Gilmore Creek, Southeastern Australia. *Earth Surf. Process. Landforms* 32, 1398-1411.
- Page K., Read A., Frazier P., Mount N. 2005: The effect of altered flow regime on the frequency and duration of bankfull discharge: Murrumbidgee River, Australia. *River. Res. Applic.* 21, 567-578.
- RBMP (River Basin Management Plan) 2006: A Hernád folyó részleges vízgyűjtő gazdálkodási terve. A Víz Keretirányelv megvalósítása határvízi körülmények között. (Project PPA03/HUSK/9/1)
- Richards K.S., Wood R. 1977: Urbanization, water redistribution, and their effect on channel processes. In: Gregory K.J. (ed): *River channel changes*. Wiley, 369-388.
- Rinaldi M. 2003: Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy. *Earth Surf. Process. Landforms* 28, 587-608.
- Rinaldi M., Simon A. 1998: Bed-level adjustments in the Arno River, central Italy. *Geomorphology*, 22, 57-71.
- Schumm S.A., Beathard R.M. 1976: Geomorphic thresholds: an approach to river management. *Am. Soc. Civil Engineers Waterways, Harbors and Coastal Eng. Div. 3rd Ann. Symposium Proceedings*, 707-724.
- Sipos Gy. 2006: A meder dinamikájának vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. PhD értekezés, Szegedi Tudományegyetem, 138.
- Surian N., 1999: Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy. *Earth Surf. Process Landforms* 24, 1135-1151.
- Szabó J. 1996: Csuszamlásos folyamatok szerepe a magyarországi tájak geomorfológiai fejlődésében. *Kossuth Egyetemi Kiadó Debrecen*, 113-135.
- Szabó J. 2006: A vízgazdálkodás geomorfológiai vonatkozásai. In: Szabó J., Dávid L. (szerk): *Antropogén geomorfológia*. Debrecen, 168-190.
- Szabó M. 2006: A vegetáció feltételezete és a szukcesszió lehetséges útjai a Szigetközben a lipóti övzóna példáján. III. Magyar Földrajzi Konferencia MTA-FKI, Budapest, CD, 1-11
- Urban M.A., Rhoads B.L. 2003: Catastrophic human-induced change in stream-channel planform and geometry in an agricultural watershed, Illinois, USA. *Annals of the Ass. of Am. Geographers* 93/4. 783-796.
- Williams G.P. 1978: Bankfull discharge of rivers. *Water Research*, 14/6, 1141-1154.
- Winterbottom, S.J. 2000: Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. *Geomorphology*, 34, 195-208.