

SZABÁLYOZÁSOK HATÁSÁRA BEKÖVETKEZŐ MORFOLÓGIAI VÁLTOZÁSOK A TISZA ÉS A MAROS ALSÓ SZAKASZÁN²³

FIALA KÁROLY²⁴ – SIPOS GYÖRGY – KISS TÍMEA

MORPHOLOGICAL ALTERATIONS DUE TO RIVER REGULATION WORKS ON THE LOWER SECTIONS OF TISZA AND MAROS RIVERS

Abstract: The regulation works of the last 150 years have drastically altered the morphology of Hungarian lowland rivers. The aim of the present study is to compare the answers of the Maros and Tisza Rivers given on the cut-offs and revetment constructions. The cut-offs on Tisza were made in the 19th century, and by the beginning of the 20th century the parameters of the channel became similar as they were earlier, suggesting equilibrium state and robust answer. The local revetments built in the twentieth century restricted the possibility of lateral erosion, thus the channel deformed, pointing towards disequilibrium state.

The channel pattern of the meandering Maros was radically changed in the nineteenth century, and as an answer braiding pattern was developed, thus the river gave a sensitive answer. During the last 50 years the channel is getting narrower especially on the braided sections, suggesting that the braids are declining and the river is going to return to its original pattern.

BEVEZETÉS

A korábban medrüket szabadon formáló alföldi folyók életében drasztikus változásokat okoztak a 19. század folyószabályozási munkálatai. A kanyarulat-átvágások és az esésnövekedés hatására hosszabb-rövidebb szakaszokon megváltozott mintázatuk, és legtöbbször keresztiszelvényeik is a korábitól eltérő morfológiát mutatnak.

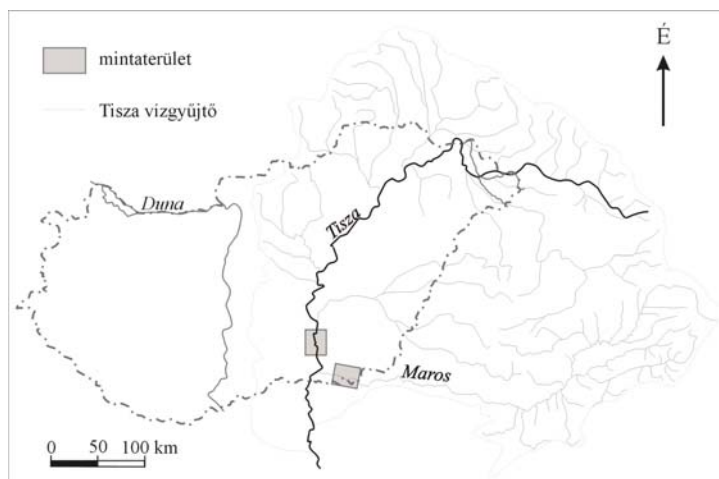
A beavatkozások hatását a Tisza és a Maros egy-egy 20 km-es szakaszán elemeztük részletesen (*1. ábra*). A két folyón a szabályozások közel azonos időben kezdődtek és egységes elveket követtek, azonban erre a vizsgált folyószakaszok eltérően reagáltak. Ennek háttérében egyrészt a folyók különböző hidrológiai jellemzői (esés, vízhozam, hordalékmenyiség és hordalékminőség), másrészt pedig a 20. században végbemenő eltérő mértékű emberi beavatkozások állnak, hiszen míg a Tiszán ezek csaknem folyamatosnak tekinthetők, addig a Maros határszakasza Trianon óta szabályozatlan.

A bemutatott tanulmánnyal az a célunk, hogy értékeljük a szabályozások hatására bekövetkező változásokat, és felhívjuk a figyelmet arra, hogy az intenzív antropogén hatások ellenére is folyóink önálló morfológiai rendszerek, amelyek a

²³ A kutatást az OTKA 62200 sz. pályázata támogatta.

²⁴ Alsó-Tisza vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Vízyűjtőfejlesztési Osztály. 6720 Szeged, Stefánia 4. E-mail: fialak@atikovizig.hu

megváltozott paraméterekhez idomulva igyekeznek egyensúlyi helyzetüket helyreállítani.



1. ábra A vizsgálati területek elhelyezkedése
Figure 1 Location of the study areas on the Maros and Tisza Rivers

VIZSGÁLATI TERÜLETEK

Alsó-Tisza

A Tisza alsó szakaszának jellemző vízhozama a csongrádi szelvényben kisvízkor $115 \text{ m}^3/\text{s}$, közepes vízállásnál $550 \text{ m}^3/\text{s}$, árvíz idején pedig eléri a $3630 \text{ m}^3/\text{s}$ -ot, azaz a kisvízi és árvízi vízhozamok aránya 30-szoros. Az LKV és az LNV különbsége $10,29 \text{ m}$. A folyó vízszintjének esése $2,9 \text{ cm}/\text{km}$, sebessége (Szentesnél) kisvízkor $0,1\text{-}0,4 \text{ m}/\text{s}$, középvízkor $0,6\text{-}0,9 \text{ m}/\text{s}$, nagyvízkor $1,5 \text{ m}/\text{s}$. A felsorolt értékek a Tisza ingadozó vízjárását tükrözik, az egyes hidrológiai állapotok között átmenet azonban lassú, amit az árvizek tartóssága is bizonyít, hiszen a kis esés miatt az egyes árhullámok utolérhetik egymást (Lászlóffy W. 1982). A folyó hordalékszállítása a vízjáráshoz kötődően változik. A fenékküledék mennyisége ezredrésze a lebegtetve szállított üledéknek (Lászlóffy W. 1982). Közepes vízhozam értékek mellett az alsó szakasz hordalék-töménységének sokéves átlaga $365 \text{ g}/\text{m}^3$.

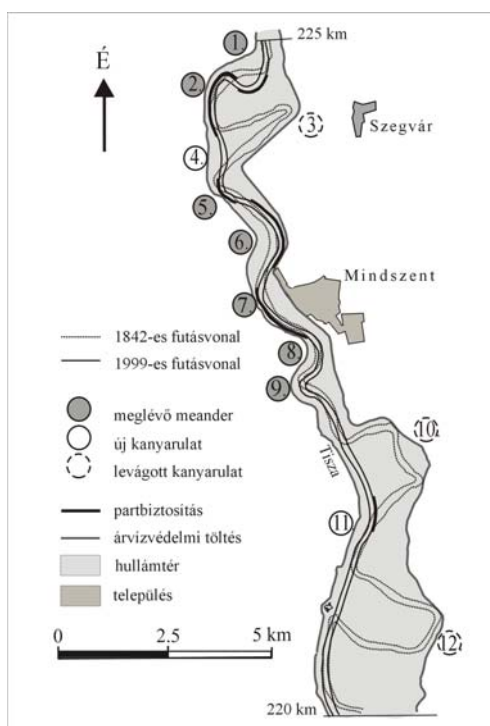
Jelen vizsgálat az egyik mintaterülete a Tisza 205-225 fkm közötti szakasza (2. ábra), ahol a 19. században három átvágást készítettek, míg a 20. században partvédő művekkel látták el a vizsgált folyószakasz 37%-át.

Maros

A Marosnak hazánk területére csupán $28,3 \text{ km}$ -nyi hossza esik teljes szélességében, míg 22 km (Apátfalvától Nagylakig) a magyar-román határt alkotja. Ezen az összesen 50 km -es szakaszon esése $27 \text{ cm}/\text{km}$, míg középvízkor átlagos sebes-

sége 0,6 m/s. Heves vízjárású folyó, vízhozama Makónál árvízkor 1600-2500 m³/s, közepes vízállásnál 161 m³/s, míg kisvízkor csupán 21 m³/s. A Maros vízjárásának hevesességére **Török I.** (1977) is rámutatott, amikor a vízállások napi gyakoriságát vetette össze a Tisza hasonló adataival. Kimutatta, hogy az 50-75% gyakoriságú vízállás tartóssága a Tisza esetében 3-4-szerese a marosi értékeknek, míg 75% feletti vízállás esetében 8-9-szerese. Hordalékszállításának mértéke jelentős, a durva fenéküledék mellett figyelemre méltó, hogy lebegtetett hordalékának töménysége (650 g/m³) duplája, mint a Tiszáé (**Bogárdi J.** 1974). Mindez előrevetíti, hogy a Maros esetében jelentős mederformáló erőkkel kell számolnunk a hirtelen változó vízhozamok és a szállított hordalék mennyisége kapcsán.

A bemutatásra kerülő elemzést a Nagylak és Apátfalva között húzódó 20 km-es folyószakaszon végeztük (4-5. ábra), amely ideális a medermintázat antropogén megváltoztatására adott természetes válasz vizsgálatára, hiszen hátráfolyói státusza miatt mintegy 90 éve vízügyi beavatkozás nem történt a vizsgált folyószakaszon.



2. ábra A Tisza futásvonala 1842-ben és 1999-ben az alsó-tiszai mintaterületen

Figure 2 The location of the channel in 1842 and 1999 on the Lower Tisza study area

A MEDERMINTÁZAT ÉS A KERESZTSZELVÉNYEK VÁLTOZÁSA A TISZA VIZSGÁLT SZAKASZÁN

A szabályozási munkák előtti folyó arculata jelentősen eltért a maitól. A szabályozások előtti (1842) felmérés fejlett meanderező mintázatról és széles folyómederről tanúskodik (1. táblázat), amely igen széles ártérrel állt kapcsolatban. A mederben nagyméretű mederközepi zátonyok is megfigyelhetők, sekély és kis esésű mederre utalva. Természetes állapotban a folyó szinuszitása 1,84 volt fejlett kanyarulatok meglétére utalva, amit a szürfelxiós kanyarulatok léte is tükröz. A keresztmetszvények azt mutatják, hogy ekkor a meder átlagmélysége 7,5 m volt, a szélesség/mélység (w/d) hányados a meanderező folyókra jellemző értékeknek felelt

meg, azaz a kanyarulatok tetőpontjánál 15,7, míg az inflexiós szelvényeknél 26,6 volt.

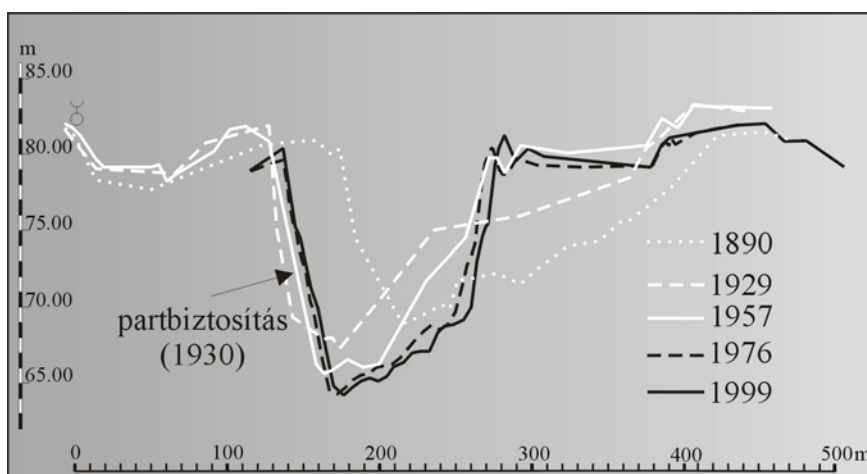
1. táblázat A vizsgált Tisza szakasz kanyarulatainak átlagos horizontális paraméterei
Table 1 Mean horizontal meander parameters of the studied Tisza reach

	szakasz- hossz (km)	szélesség (m)	ívhossz (m)	amplitúdó (m)	kanyarulati sugár (m)	kanyarulat- fejlettség
1842	37,9	182	937	193	600	0,24
1890	24,6	169	1230	247	785	0,21
1929	24,7	174	1266	260	820	0,22
1957	24,9	154	1124	203	809	0,19
1976	24,9	156	1112	208	806	0,20
1999	25,0	152	1139	221	800	0,21

A természetes állapot fejlődési irányát és ütemét döntően befolyásolták a 19. századi szabályozási munkálatok, amit az 1890-es felmérés rögzített. A három átmetszés hatására a középvonal hossza 35%-kal, míg a folyó szinuszitása 1,26-ra csökkent, hiszen a legfejlettebb kanyarulatokat vágták le. A beavatkozások hatására a főként fejlett kanyarulatokkal jellemezhető szakasz 20%-a vált egyenessé, ami az átlagszélesség 9%-os csökkenésével is együtt járt, ugyanakkor a medermintázat nem változott. Az 1890-es felmérés eredményei azt mutatják, hogy az eredeti (egyensúlyi) állapotba való visszatérés az egyenes szakaszokon a meanderezés megindulásával kezdődött. A futásfejlettség növekedését bizonyítja, hogy a középvonal 1,4%-kal meghosszabbodott, s ez a tendencia 1929-ig folyamatos. Az új hidrológiai állapotokhoz igazodva a szélesség és mélység is növekedett, melyeknek átlagos értéke 174 m és 8,9 m. A kanyarulati paraméterek értékei hasonló módon változtak. Az egyenes szakaszok álkanyarokká alakulása megindult, míg a megmaradt meanderek jellemző adatai növekedtek, mely a nagyobb vízsebességhez köthető munkavégzés eredménye. (*Ouchi, S.* 1985. laboratóriumi kísérletei szerint is a lejtés növekedése növeli a kanyarulat fejlettségét.) Tehát, a szabályozások morfológiai hatásai rövidtávon jelentősnek mondhatók, ám néhány évtized alatt a folyó beavatkozásokra adott válasza eredményeképpen az új kanyarulati- és mederviszonok új egyensúlyi állapotot tükröznek.

Ezt az egyensúlyi helyzetet egy újabb antropogén hatás ismét módosította, ugyanis az 1930-as években intenzív partvédőmű építés kezdődött. A lokális beavatkozások lényegesen nagyobb változást eredményeztek a kanyarulati paraméterekben. A meder átlagos szélessége az 1950-es évektől kezdődően folyamatosan csökken, 1999-re csupán már 152 m volt, ami az egy oldalon stabilizált meder eredménye. Fontos kérdés a szűkülés üteme. A szabályozások óta 0,2 m/év sebességgel csökken a meder átlagszélessége. Ez az érték nem tűnik jelentősnek, ám az 1930-as évekre az átlagszélesség megközelítette a szabályozatlan folyót jellemző értékeket, tehát a szűkülést az elmúlt 75 évben kell vizsgálnunk. Ez alapján a mederszűkülés üteme 0,3 m/év-nek adódik, amit a folyó bevágódással próbál ellensúlyozni, így az 1960-as évekhez képest ma 1 m-rel mélyebb a meder. A változást a

kanyarulatok keresztmetszénei is mutatják (3. ábra). A szűkülés leginkább a domború ív folyamatos épülését jelenti, amit nem tud ellensúlyozni a stabilizált homorú ív. Így a meder egyre kisebb, szűkebb kanyarulatokkal jellemezhető, ami már kevésbé illeszkedik a folyó hidrológiai paramétereire (pl. vízhozam, esés). Tehát a fenti lokális beavatkozások – az egységes szabályozási munkákkal szemben – már olyan beavatkozásoknak tekinthetők, amelyek megbontották a folyó dinamikus egyensúlyát.



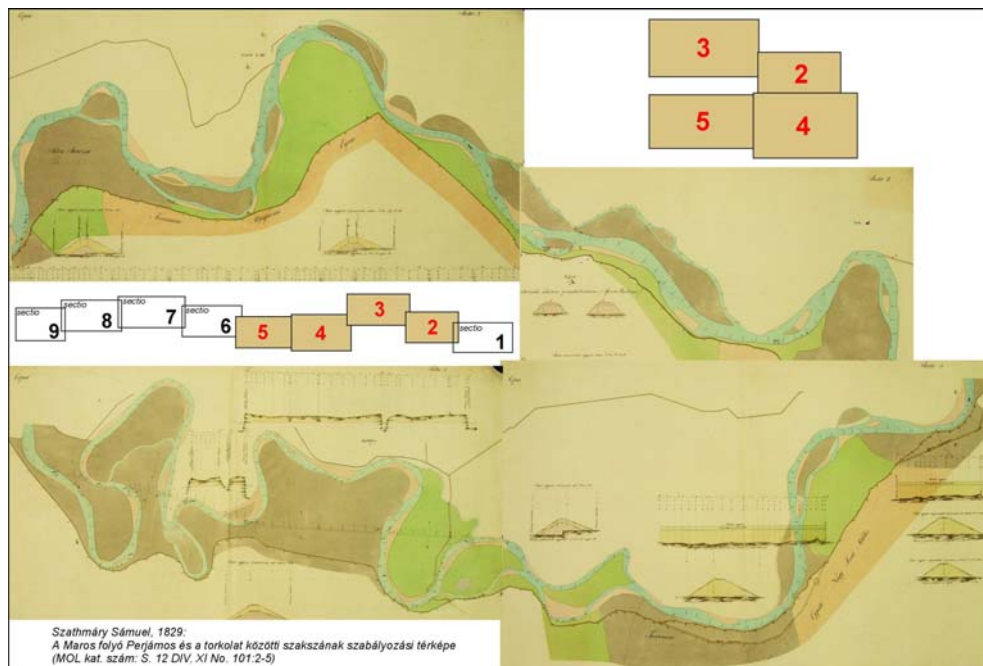
3. ábra A mederszelvény változása partbiztosítás hatására (6. kanyarulat)
Figure 3 Cross-sectional changes due to revetment construction (meander No. 6)

A MEDERMINTÁZAT ÉS A KERESZTSZELVÉNYEK VÁLTOZÁSA A MAROS VIZSGÁLT SZAKASZÁN

A szabályozások előtt a Maros vizsgált szakasza meanderekkel, erekkel, szigetekkel tagolt vízrendszert alkotott (4. ábra), szinuszitása 2,0 volt (jól fejlett kanyarok megléte). Ennek megfelelően Apátfalva alatt elsősorban a meanderek határozták meg a folyó mintázatát, a szigetképződés a felsőbb szakaszokhoz viszonyítva jelentéktelen volt, a zátonyképződésről csak írásos említéseink vannak (**Márton Gy.** 1914, **Blazovich L.** 1993). Az Apátfalva és Nagylak között feltüntetett szigetek főleg a kanyarulatok belső ívén elhelyezkedő, magasabb övzátony felszínekből kialakuló igen nagy méretű képződmények voltak, és nem a jelenlegi állapotra jellemző kisebb mederközepi szigetek. A vizsgált szakasz tehát eredendően meanderező, helyenként anasztomizáló mintázatot mutatott az 1820-as években, hiszen miközben jól fejlett meanderek határozzák meg a folyó futását, addig a szigetek közül többnek a szélessége elérte a meder szélességének háromszorosát, ami **Schumm, S. A.** (1985) szerint az anasztomizáló folyók jellemzője.

Gyökeres változásokat idéztek elő a folyó medermintázatában az 19. század közepén és végén zajló szabályozási munkálatok, melyek során a Maros víz-

gált szakaszának alsó felét csaknem teljesen kiegyenesítették (szinusztás: 1,2). A megváltozott energiaviszonyok hatására (az esés megduplázódott, 28 cm/km-re nőtt) az egyenes meder a vízfolyás energiáit jobban felemésztő, fonatos mintázatot vett fel, azaz a meder helyenként kitágult és számos kisebb méretű mederközepi sziget jött létre (Sipos Gy. 2003). Így a folyamat és a forma kapcsolatrendszerében ezúttal a megszokottól eltérően a forma – jelen esetben a medermintázat – antropogén megváltoztatása vonta maga után az üledék felhalmozási és mederalakítási folyamatok módosulását.

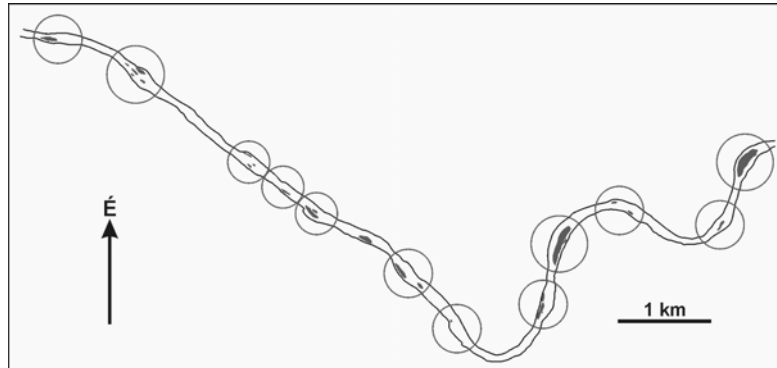


4. ábra A Maros futásvonala a vizsgált szakaszon 1829-ben, a szabályozások előtt
 Figure 4 The meandering channel of the Maros River in 1829, before the regulations

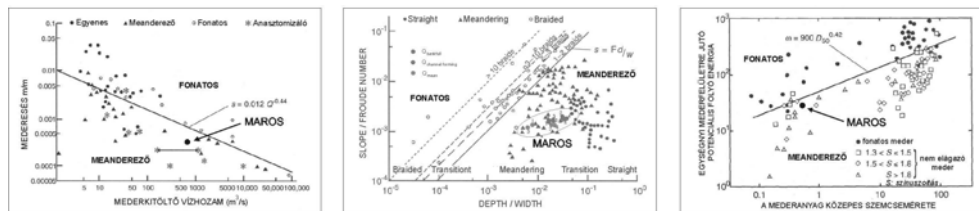
Jelenleg a vizsgált folyószakaszt mintázat szempontjából két részre lehet bontani: 1) a felső meanderező jellegű és 2) az alsó kiegyenesített, helyenként fonatos egységekre (5. ábra).

A térképek és légifotók elemzése mellett azt is meghatároztuk, hogy a Maros egyes független hidrológiai változói (esés, vízhozam, szállított hordalék minősége) milyen medermintázatot feltételeznek. A számításoknál a **Lepold, L. B. – Wolman, M. G.** (1957), **Parker, G.** (1976) és **Berg, J. H. van den** (1995) féle összefüggéseket, illetve diagramokat használtuk (6. ábra). Mindhárom esetben a folyó a meanderező mintázatú vízfolyások közé esik, habár a harmadik diagramon, amely a mederhordalék méretét is figyelembe veszi, a Maros feltűnően közel esik a fonatos mintázathoz.

Szabályozások hatására bekövetkező morfológiai változások a Tisza és a Maros alsó szakaszán



5. ábra A Maros vizsgált szakasza 2000-ben és a medertágulatok elhelyezkedése
 Figure 5 The studied reach of Maros River and the location of widened sections



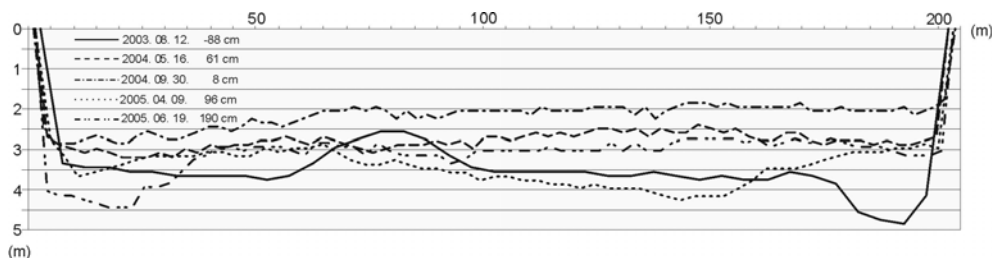
6. ábra A Maros medermintázatának meghatározása a) **Lepold, L. B. – Wolman, M. G.** (1957), b) **Parker, G.** (1976) és c) **Berg, J. H. van den** (1995) diszkriminációs egyenletei alapján

Figure 6 Channel pattern of the studied reach using the formula of a) **Lepold, L. B. – Wolman, M. G.** (1957), b) **Parker, G.** (1976) and c) **Berg, J. H. van den** (1995)

Ugyanakkor a folyón megfigyelhető kitágult folyószakaszok és a rajtuk, illetve bennük elhelyezkedő sziget- és zátony-rendszerek jellegzetesen fonatos mintázatot tükröznek. A fonatosság meglétét az is alátámasztja, hogy az általunk felmért (**Sipos Gy.** 2006) keresztmetszvények alapján a tágulati szelvények mederformáló vízállásra számított w/d értékei eléri, sőt meg is haladják a **Fergusson, R. I.** (1987) által meghatározott $w/d=50$ határértéket, amely a fonatos és a meanderező vízfolyások között húzódik. A szabályozatlan egyenes szakaszok tágulataiban a mederszelvények átlagos w/d értéke 64, míg a tágulatokat követő szűkebb szelvények w/d értéke 27, azaz a folyó morfológiai szempontból a fonatos és a meanderező medermintázat határán mozog. Ezt mutat az is, hogy a különböző időpontokban felmért azonos szelvények morfológiája évről-évre jelentősen átalakul (7. ábra), a mederben előrenyomuló zátonyok hatására (**Sipos Gy.** 2006).

A Maroson – a Tiszához hasonlóan – az elmúlt 50 évben egyértelmű szűkülést tapasztaltunk mind a maximális, minimális és átlagértékek tekintetében. A szűkülés a tágulati szelvények esetében tűnik a legmarkánsabbnak (19%), míg a szűk szelvények esetében valamivel kisebb (16%) (2. táblázat). Mivel ezen a szakaszon vízügyi beavatkozás az utóbbi 90 évben nem történt, a fenti változások a fo-

lyó természetes idomulásaként foghatóak fel a hidrológiai változók értékeihez, a szűkülés ugyanis a meanderező mintázat újbóli kialakulását vetítheti előre.



7. ábra Egy jellegzetes tágulati szelvény változása különböző vízállásoknál
Figure 7 Cross-sectional changes within a braid at different stages

2. táblázat A meder szélességviszonyainak változása a Maroson 1953 és 2005 között
Table 2 Width changes of the channel on the Maros River between 1953 and 2005

szélesség (m)	1953	1973	1981	1991	2005
W_{max}	333	304	288	304	302
W_{min}	114	111	95	87	86
$w_{\text{átl}} \text{ tágulat}$	229	209	200	190	185
$w_{\text{átl}} \text{ szűkület}$	171	166	153	147	144
$w_{\text{átl}}$	190	180	167	163	160

A SZABÁLYOZÁSOK ÉRTÉKELÉSE AZ EREDMÉNYEK TÜKRÉBEN

A Tisza vizsgált, meanderező mintázatú szakaszának fejlődését időben és térben három egységre oszthatjuk. A vizsgált időszakot három periódusra oszthatjuk a folyót ért emberi hatások és az arra adott válaszok alapján. A (1) 19. századi szabályozások előtti természetes állapot; (2) a szabályozást követő állapot 1930-ig, amikor bár az átvágások jelentősen megváltoztatták a futásvonalat, a folyó néhány évtized elteltével az esésnek és vízhozamnak megfelelő morfológiai állapotba került; (3) az 1930-as évek utáni periódus, amikor a lokális beavatkozásokat követően jelentős medertorzulások történtek. A vizsgált szakaszt feloszthatjuk a közvetlen emberi beavatkozás mértéke szerint (1) megközelítőleg természetes úton fejlődő, (2) a szabályozások alkalmával létrehozott, de azóta természetes módon fejlődő és (3) a partbiztosítás megléte miatt folyamatosan torzuló szakaszokra. A legintenzívebb változások a szabályozásokat követő periódusban történtek, amikor a kiegyenesített szakaszok gyors fejlődésnek indultak. Ez összhangban van *Schumm, S. A.* és *Khan, H. R.* (1972) eredményeivel, mely szerint a növekvő esés hatására a kanyarulatfejlődés felgyorsul. A megváltozott morfológiai viszonyokhoz a folyó folyamatosan (robosztus módon) igazodni próbált, azonban míg ez sikeres volt az átvágásokat követően, addig a partvédő művek megépítésére adott válasz inkább az egyensúlyvesztés irányába mutat.

A Maros vizsgált szakaszáról ugyanakkor elmondható, hogy az elsősorban átvágásokkal szabályozott szakaszon jelentősen nőtt a folyó energiája, ezért a 19. századi beavatkozásra válaszul a folyó tágulatokat és szigeteket hozott létre. Ezáltal a meder ha lokálisan is, de egy intenzívebb morfológiai változásokat megtestesítő fonatos mintázat irányába változott, amelyet alátámasztanak a kitégult mederszakaszok keresztshelvényeinek morfológiai paramétereit, és azok változásait. Ilyen értelemben a vízfolyás 100 éves távlatban geomorfológiai szempontból érzékenyen reagált az emberi beavatkozásra. Ugyanakkor a hidrológiai változók továbbra is a meanderező mintázatnak megfelelő értéket mutatnak, és ennek megfelelően a meder hosszabb távon robusztus módon idomul a megváltozott körülményekhez, azaz befogadja a változásokat, és visszatér eredeti, meanderező állapotába, tehát a folyamatos szűkülés ennek jeleként értékelhető.

IRODALOM

- Berg, J. H. van den** 1995. Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. *Geomorphology* 12. pp. 259-279.
- Blazovich L.** (szerk.) 1993. Makó Monográfiája 4. Makó. pp. 102-110.
- Bogárdi J.** 1974. Sediment transport in alluvial streams. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Fergusson, R. I.** 1987. Hydraulic and sedimentary control of channel pattern. In: **Richards K. S.** (ed.). *River channels: environment and process*. Blackwell, Oxford. pp. 129-158.
- Lászlóffy W.** 1982. A Tisza. Akadémiai Kiadó, Budapest. 610. p.
- Leopold, L. B. – Wolman, M. G.** 1957. River channel patterns: braided, meandering, and straight. *US Geol. Survey Prof. Paper* 282.
- Márton Gy.** 1914. A Maros alföldi szakasza és fattyúmedrei. *Földrajzi Közlemények* 52. pp. 282-301.
- Ouchi, S.** 1985. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Bull. Geol. Soc. Am.* 87. pp. 1101-1104.
- Parker, G.** 1976. On the cause and characteristic scales of meandering and braiding in rivers. *J. of Fluid Mechanics* 76. pp. 457-480.
- Schumm, S. A. – Khan, H. R.** 1972. Experimental study of channel patterns. *Bull. Geol. Soc. Am.* 83. pp. 1755-1770.
- Schumm, S. A.** 1985. Patterns of Alluvial Rivers. *Ann. Rev. of Earth and Plan. Sci.* 13. pp. 5-27.
- Sipos Gy.** 2003. A meder stabilitásának vizsgálata a Maros alföldi szakaszán. XXVI OTDK, Miskolc. Kézirat.
- Sipos Gy.** 2006. A mederdinamika vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. PhD. értekezés. Kézirat.
- Török I.** 1977. A Maros alföldi szakaszának szabályozási terve (0-51,33 fkm). ATIVIZIG, Szeged. Kézirat.