

A jelenleg is változó folyó

Sipos György, Právetz Tamás, Katona Orsolya, Florina Ardelean, Fabian Timofte, Alexandru Onaca, Kiss Tímea, Kovács Ferenc, Tobak Zalán

A Maros nemcsak a múltban volt aktív, de napjainkban is a Kárpát-medence egyik legdinamikusabban változó vízfolyása. Nem csoda, hiszen nagy mennyiségű hordalékot szállít, esése viszonylag nagy, áradásai pedig még az alsó szakaszokon is hevesek. A folyó mindamellett a régió egyik legfontosabb természeti erőforrása: vize ökológia szempontból egyedülálló élőhelyeket és jó adottságú mezőgazdasági területeket éltet, a medréből kitermelt kavics és homok fontos építőanyag, természeti szépségei pedig jelentős turisztikai vonzerővel bírnak. Az itt élők mindig is törekedtek a folyó gazdasági hasznosítására, de általában nem mérték fel ennek hosszú távú következményeket. Ez történt a 19. századi folyószabályozások során, és feltehetően napjainkban is például az intenzív homokkitermelés kapcsán (1. ábra).

Milyen tényezők határozzák meg jelenlegi fejlődését? Hogyan reagált a folyó a különböző emberi beavatkozásokra? Milyen változások jellemzik medrét rövidebb, illetve hosszabb távon? Főként ezeket a kérdéseket jártuk körbe kutatásunk

Schimbările actuale ale râului

Sipos György, Právetz Tamás, Katona Orsolya, Florina Ardelean, Fabian Timofte, Alexandru Onaca, Kiss Tímea, Kovács Ferenc, Tobak Zalán

Râul Mureș a fost activ nu doar în trecut, ci este și în prezent unul din cele mai dinamice râuri ale bazinului carpatic. Acest lucru nu trebuie să ne surprindă deoarece el transportă o încărcătură ridicată de sedimente, are o pantă ridicată, iar secțiunea sa de câmpie este afectată de viituri foarte puternice. Mureșul reprezintă una din cele mai importante resurse naturale ale regiunii. Apele sale mențin habitatele naturale și agricultura, nisipurile și pietrișurile extrase din albie fiind folosite în construcții, iar frumusețea sa naturală remarcabilă reprezentând o atracție turistică importantă. Oamenii au fost tentați dintotdeauna să folosească resursele râului în scop economic, dar nu au luat în considerare consecințele pe termen lung. Un exemplu elocvent îl constituie regularizările din secolul al XIX-lea precum și exploatarea actuală intensivă din albie (Fig. 1).

Care sunt factorii care determină evoluția prezentă a râului? Cum reacționează aceasta la diferitele tipuri de intervenții antropice? Ce schimbări cunoaște albia minoră pe termen scurt sau lung? În

ezen szakaszában. Vizsgálatainkat a Maros mintegy 175 km-es síksági szakaszán végeztük, ezen belül négy jellegzetes mintaterületen rendszeres felmérésekkel igyekeztünk a mederfejlődést nyomon követni. Kutatási eredményeink alapján körülírhatóak a jövőben várható változások, illetve a fenntartható használat szempontjából fontos beavatkozási pontok. A vizsgálatok során mindemellett lefektettük egy több lépcsős, hosszabb távú monitoring tevékenység alapjait is, melynek segítségével további adatokat nyerhetünk a vízügyi tervezés, valamint a természetvédelmi és turisztikai célú fejlesztések elősegítéséhez..

această fază a cercetării noastre am căutat să răspundem la întrebările enumerate. Investigațiile au vizat cei 175 km din zona de câmpie a Mureșului. În acest sens, în patru locații reprezentative diferite ale râului secțiunea canalului de albie minoră a fost monitorizată prin măsurători regulate. Pe baza rezultatelor cercetărilor întreprinse se pot determina schimbările viitoare ale albiei și punctele de intervenție pentru asigurarea unui management sustenabil al râului. Mai mult, fundamentele necesare unei monitorizări în mai multe etape și pe termen lung care să furnizeze datele necesare unui management mai bun au fost oferite de acest studiu.



1. ábra: Homokkitermelés a Maros Arad feletti szakaszán.

Fig.1: Balastieră de nisip pe Mureș în amonte de Arad.

Fig. 1: Sand extraction on the Maros/Mureș upstream of Arad.

Módszerek

A folyók fejlődését, emberi beavatkozásokra adott válaszait legegyszerűbben térképek és légifotók segítségével követhetjük nyomon. Bár sok esetben ezen adatforrások térbeli és időbeli felbontása nem elég ahhoz, hogy teljes mértékben rekonstruálhassuk a meder változásait, a hosszabb távú tendenciák megfigyeléséhez mindenképp alkalmasak (Laczay 1982, Hooke 1995, Lóczy et al. 2012).

A Maros mederváltozásait az utóbbi 180 évre visszamenőleg térképek, légifotók és műholdfelvételek segítségével elemeztük. A vizsgálatokhoz igyekeztünk összegyűjteni az összes elérhető adatforrást a lehető legtöbb időpontból (1. táblázat). A legkorábbi, részleges elemzéshez alkalmazható térkép 1829-ből származott. A vizsgálat kiinduló pontját mégis a II. katonai felmérés 1860-as évekből származó térképlapjai jelentették. Ezek hatalmas előnye, hogy viszonylag pontosak, még látszanak rajtuk a szabályozás előtti meanderek, illetve a teljes Lippa–Szeged szakaszra elérhetőek. Utóbbi kritérium a további adatforrások közül sajnos csak a legújabb, 2005–2006-os műholdfelvételekre igaz. A térképek sok esetben nem elég részletesek, ezért a pontosabb elemzéseket légifotók, műholdfelvételek segítségével célszerű elvégezni (Sipos 2006). A romániai szakasról a legelső ilyen adatok 2005-ből származnak, a magyarországi szakasról, illetve a közös határszakasról mindazonáltal 1950 óta 10 éves rendszerességgel készültek légi felvételek. A változások igazán részletes elemzését így főként erre a szakaszra vonatkozóan sikerült véghezvinni

Metode

Cel mai simplu mod de a monitoriza evoluția râului și răspunsul acestuia la intervențiile antropice este analiza schimbărilor surprinse de hărți și aerofotograme. Uneori rezoluția spațială și temporală a acestor surse de date nu este adecvată pentru reconstruirea modificărilor în detaliu, dar sunt potrivite pentru studierea tendințelor pe termen lung (Laczay 1982, Hooke 1995, Lóczy et al. 2012).

Cu ajutorul hărților, aerofotogramelor și a imaginilor satelitare evoluția albiei a putut fi investigată în ultimii 180 de ani. Scopul nostru a fost să colectăm toate sursele de date existente în această direcție (Tabelul 1). Cele mai vechi hărți care au putut fi folosite pentru reconstrucția parțială datează din 1829. Hărțile celei de-a doua ridicări militare din 1860 au fost folosite pentru tot cursul Mureșului pentru uniformizarea celei mai vechi perioade de referință. Aceste hărți au avantaje considerabile: sunt destul de precise, meandrele dinaintea lucrărilor de regularizare pot fi identificate cu ușurință și acoperă tot cursul Mureșului între Lipova și Szeged. Din păcate pentru tot sectorul au fost accesibile doar imaginile satelitare din 2005 și 2006. În multe cazuri hărțile nu sunt suficiente de detaliate pentru o analiză precisă, iar măsurătorile pot fi mult mai performante dacă se utilizează aerofotograme și imagini satelitare (Sipos 2006). Cele mai vechi aerofotograme disponibile pentru sectorul românesc al Mureșului datează din 2005, în timp ce pentru zona de graniță și pentru spațiul maghiar acestea au fost realizate în fiecare decadă începând cu anii

(2. ábra). Ugyanakkor a romániai szakaszon az utóbbi 50 évben akkora változások következtek be, hogy a kevésbé részletes térképek is alkalmasak voltak az ottani mederfejlődés tendenciáinak feltárásához.

A romániai szakaszcól végül 6, a magyarországi szakaszcól pedig 13 időpontból álltak rendelkezésre a különböző adatforrások (1. táblázat). Ezeket egységes térinformatikai rendszerbe integráltuk, azaz georeferáltuk. A mérések során vizsgáltuk a partvonalak, a közép vonal, a szélesség, valamint a mederben található szigetek változásait, elmozdulását. E vizsgálatok segítségével ugyanis meghatározható a folyó dinamikája a különböző szakaszokon, illetve következtethetünk a változások jövőben lehetséges irányára.

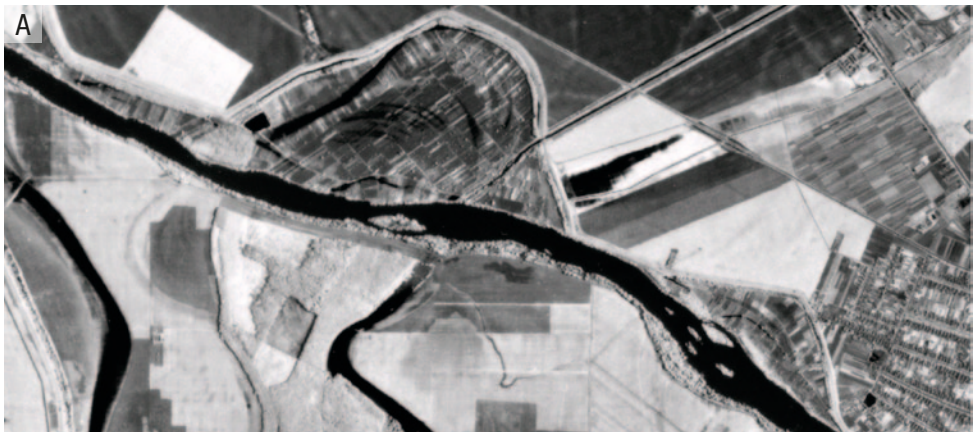
1950 (Fig. 2). Fără îndoială că schimbările majore din sectorul românesc din ultimii 50 de ani nu pot fi evaluate cu acuratețe de pe majoritatea hărților disponibile.

În final au fost utilizate date din 6 respectiv 13 perioade diferite pentru secțiunea română respectiv maghiară (Tabelul 1). Datele au fost integrate într-un sistem geoinformatic prin georeferențierea tuturor datelor cartografice și aerofotografice disponibile. Pe durata analizei au fost măsurate schimbările survenite la nivelul malurilor, liniei centrale a albiei, lățimii albiei precum și dimensiunile insulelor. Cu ajutorul acestor investigații a fost posibilă aflarea dinamicii râului în plan orizontal pe diferite sectoare, iar concluziile pot fi folosite pentru estimarea schimbărilor râului în viitor.

► **2. ábra:** A közös magyar–román határszakasz egy részlete különböző adatforrásokon (A: 1:25 000 méretarányú román topográfiai térkép 1973-ból, B: légifotó 1981-ből, C: 1:10 000 méretarányú magyar topográfiai térkép 1982-ből).

► **Fig. 2:** O parte din sectorul de graniță dintre România și Ungaria surprinsă de surse diferite (A: harta topografică românească, scara 1:25 000 din 1973, B: aerofotogramă din 1981, C: harta topografică maghiară scara 1:10 000 din 1982).

► **Fig. 2:** A part of the joint Hungarian–Romanian border section on different data sources (A: 1:25 000 scale Romanian topographical map from 1973, B: aerial photo from 1981, C: 1:10 000 scale Hungarian topographical map from 1982).



A térképek, légifotók és műholdképek geokorrekcióját ERDAS Imagine 8.6, illetve ArcGIS 9.2 és 9.3 szoftverrel végeztük el. Referencia térképnek a román és a magyar szakaszon is az 1980-as évek elején készült topográfiai térképeket alkalmaztuk, előbbieket 1:25 000, utóbbiak 1:10 000 méretarányban készültek (2. ábra). Ezekhez a sorozatokhoz korrigáltuk a légifotókat, illetve a korábbi térképszelvényeket. Az egyes adatforrások pontosságát az alaptérképen és a többi adatforráson is beazonosítható fix pontok (útkereszteződések, épületek sarka) közötti eltérések alapján számoltuk (1. táblázat).

A továbbiakban, a geokorrigált térképek és légifotók alapján vektoros állományokat hoztunk létre ArcView 3.2 és ArcGIS 9.2 és 9.3 szoftverek segítségével. Az állományokat ezután azonos vetületi rendszerbe (UTM34) transzformáltuk, hogy a romániai és magyarországi adatokat együtt tudjuk kezelni. A változásokat az így előkészített fedvényeken segítségével lehetett térképezni.

Geocorecția aerofotogramelor și a imaginilor satelitare a fost realizată cu ajutorul programei ERDAS Imagine 8.6 și ArcGIS 9.3 și 9.2. Hărțile topografice de la începutul anilor 1980 la o scară de 1:25 000 și 1:10 000 au fost folosite ca hărți de referință (Fig. 2). Aerofotogramele și toate hărțile istorice au fost geocorectate cu ajutorul acestei serii de hărți. Precizia diferitelor surse de date a fost calculată pe baza deviației față de punctele de referință, identificabile pe toate tipurile de hărți (ex: intersecții de drumuri, colțul clădirilor) (Tabelul 1).

Următorul pas l-a constituit vectorizarea obiectelor și geocorectarea hărților folosind programele ArcView 3.2 and ArcGIS 9.3 și 9.2. Datele au fost transformate apoi în același sistem de proiecție (UTM34) pentru a permite gestionarea lor cu ușurință. Evoluția râului a fost realizabilă prin suprapunerea tuturor layerelor și cuantificarea diferențelor.

A Maros mentén élők jól tudják, hogy a folyó medre igen gyorsan változik. A kisvízkor szárazra kerülő homokpadok évről évre mindig máshol, másként figyelhetőek meg. A dinamikus változások hátterében a jelentős hordalékmennyiség és a folyó tekintélyes energiája áll (Fiala et al. 2007, Sipos et al. 2008)..

A Maros homokos-aprókavicsos hordaléka szemcseösszetételi jellemzői miatt igen jó építőanyag, ezért felhasználása széleskörű. Mindemellett folyamatos az utánpótlás, hiszen a mederből kiemelt anyag helyén keletkező gödröket a folyó a következő áradás során visszatölti. Kérdés azonban, hogy mekkora az a hordalékmennyiség, ami még gond nélkül kitermelhető, illetve az erőltetettnek tűnő

Oamenii din vecinătatea Mureșului știu că albia acestuia cunoaște schimbări rapide. Plajele de nisip apar în locații diferite în fiecare an, iar forma lor se schimbă permanent. Motivul acestor schimbări îl constituie cantitățile semnificative de sedimente transportate și marea energie dezvoltată de râu (Fiala et al. 2007, Sipos et al. 2008).

Patul albiei, constituit din nisipuri și pietrișuri fine, reprezintă o sursă de materiale de construcții renumită și folosită intens în ambele țări. În plus, fluxul de sedimente este continuu, astfel că gropile de extracție sunt umplute cu sedimente la următoarea inundație. Din acest motiv se nasc două întrebări: ce cantitate de sedimente poate fi extrasă din albie,

1. táblázat: Az utóbbi 180 év mederváltozásainak vizsgálatához felhasznált adatforrások, és azok típusa.

Tabelul 1: Lista și tipul surselor de date utilizate pentru analiza evoluției albiei în ultimii 180 de ani.

Table 1: List and type of data sources used for the analysis of channel development in the past 180 years.

HU			RO		
dátum date date	típus tipul type	pontosság precizia precision (m)	dátum date date	típus tipul type	pontosság precizia precision (m)
1829	M	-			
1864-1865	M	21.7	1860-1865	M	25.6
1910	M	47.9	1910	M	49.4
1950	A	7.8	1919-1953	M	15.5
1953	A	6.4			
1964	A	2.4	1960	M	5.1
1973	A	4.3			
1969	M	2.1			
1981	A	3.3			
1982	M	0	1981	M	0
1991	A	4.2			
2000	A	2.2			
2006	S	2.1	2005	A	2.5

M: térkép/hartă/map, **A:** légifotó/aerofotogram/aerial photo, **S:** műholdfelvétel/imagini satelitare/satellite image

bányászat milyen hatásokat válthat ki a folyó fejlődésében. Ennek felmérése, meghatározása nem egyszerű, a meder rendszeres térképezését, illetve a hordalékhozam mérését kívánja. A Maros esetében ezek a feltételek koránt sem teljesülnek, ezért is tartjuk kiemelkedően fontosnak az alább bemutatott vizsgálatokat.

A legjelentősebb kitermelés a folyó síksági szakaszán Arad felett jellemző (1. ábra). Vizsgálati területeinket (Lippa–Arad–Pécska–Apátfalva) úgy választottuk meg, hogy a bányászat feletti és alatti szakaszokon is megfigyelhető legyen a meder, ezáltal az adott szakaszra vonatkozó hordalékgyenleg éves változása (3. ábra). A mintaterületek közel 2 km hosszúak és hasonló felépítésűek voltak:

fără să genereze modificări foarte mari?; ce schimbări pot fi induse de supraexploatarea vizibilă? Răspunsul la aceste două întrebări nu este ușor de găsit, fiind nevoie de studierea continuă a albiei și de monitorizarea cantității de sedimente transportate. Aceste condiții nu se îndeplinesc în cazul Mureșului, de aceea considerăm investigațiile de mai jos ca fiind foarte importante.

Cea mai intensă activitate a balastierelor din zona de câmpie a Mureșului se desfășoară în amonte de Arad (Fig. 1). De aceea, locația secțiunilor de investigație (Lipova–Arad–Pecica–Apátfalva) a fost aleasă pentru a permite evaluarea proceselor din cadrul albiei, precum și a bugetului de sedimente din amonte,

a meder egy-egy kiszélesedő, sekélyebb ún. gázló szakaszát, valamint az előtte és utána elhelyezkedő mélyebb üst szakaszokat foglalták magukba (4. ábra). A vizsgálatokat az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság szakembereinek és műszereinek segítségével végeztük. Másfél év során 4 felmérési kampány keretében végeztük el a vizsgálatokat, Apátfalvánál további 2 időpontban is történt adatfelvétel. A motorcsónakos és szárazföldi méréseket, azaz a meder térképezése mindig ugyanazon szelvények mentén történt, így a változások összehasonlíthatóvá váltak.

A fenti módszerrel elsősorban az éves, vagy egy-egy árhullámhoz köthető mederátalakulást lehet vizsgálni, a tényleges hordalékszállítás becslése más megközelítést igényel. A klasszikus módszer szerint a meder aljára helyezett hordalékfogókkal történnek a mérések (Kiss et al. 2008). Kutatásaink során azonban a rövid távú hordalékszállítás modellezésére gyakori mederfelmérések elvégzésével tettünk kísérletet. A méréseket a makói vízmérce szelvényében található, vízhozammérésekhez használt drótkötélpálya mentén végeztük, esetenként 5 perces időintervallumokban (5. ábra).

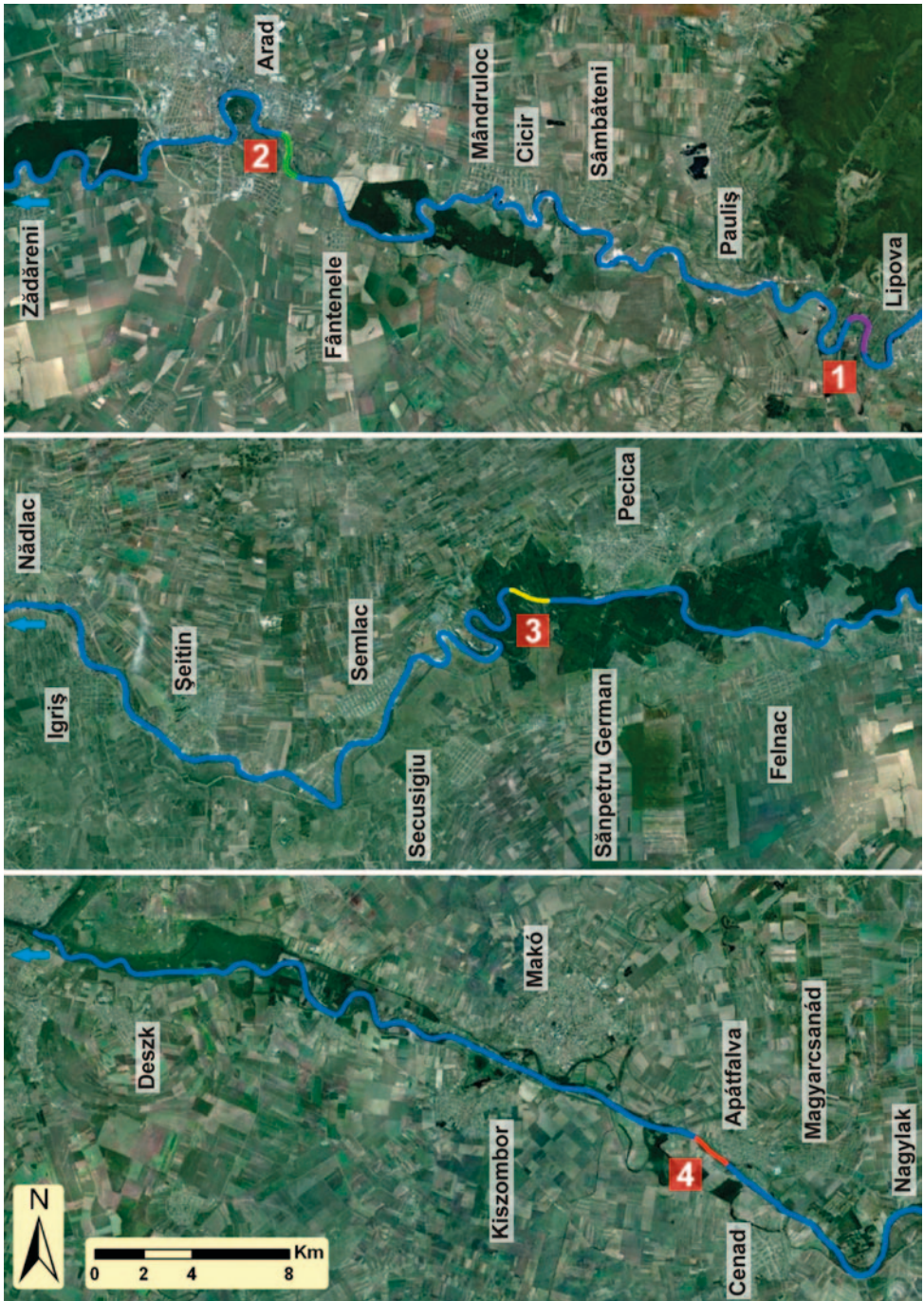
respectiv din aval de zona de exploatare (Fig. 3). Lungimea fiecărei secțiuni a fost de 2 km, acestea prezentând similitudini în ceea ce privește prezența unei secțiuni transversale largi și puțin adânci, respectiv a două secțiuni transversale adiacente adânci, atât în amonte cât și în aval (Fig. 4). Măsurătorile s-au făcut cu ajutorul unor echipamente profesionale aparținând Direcției Apelor Tisei Inferioare. Pe durata proiectului patru campanii de măsurători au fost întreprinse, în timp ce la Apátfalva au fost realizate încă două. Cartarea albiei s-a făcut pe aceleași aliniamente de fiecare dată pentru a oferi posibilitatea de comparare a rezultatelor.

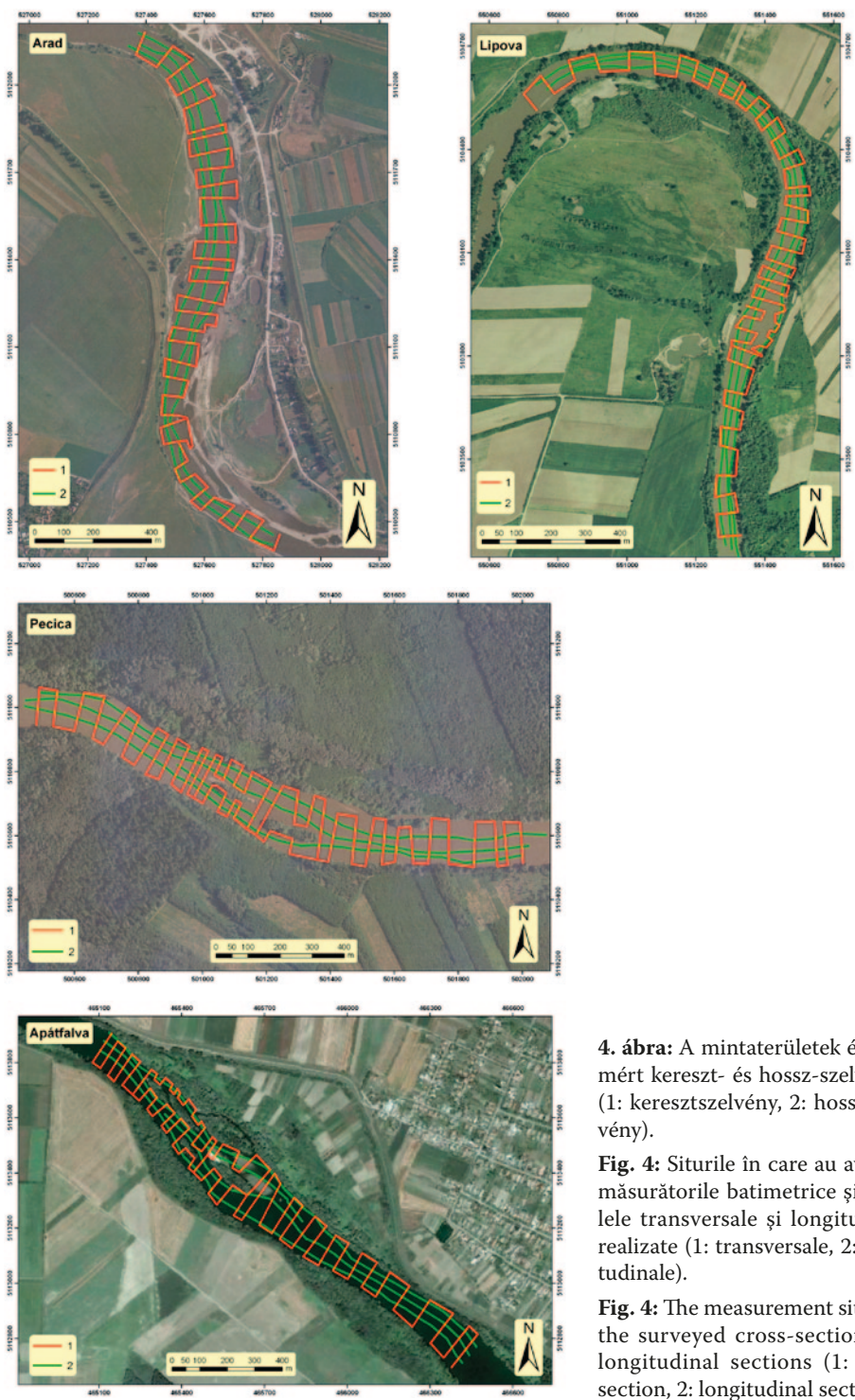
Folosind metoda amintită a fost posibilă evaluarea modificărilor anuale în transportul de sedimente sau după fiecare inundație. Calcularea transportului de sedimente la o stație necesită o altă abordare. Conform metodei tradiționale sedimentele reținute trebuie să fie plasate pe patul albiei (Kiss et al. 2008). În acest studiu experimentele au fost realizate pentru a modela transportul de sedimente pe perioade foarte scurte cu ajutorul cartării cu frecvență mare a patului albiei. Investițiile au fost realizate ocazional pe o secțiune transversală în arealul stației hidrologice de la Makó, de-a lungul unui cablu, la intervale din 5 în 5 minute (Fig. 5).

► **3. ábra:** A Maros síksági szakasza és a mérési területek elhelyezkedése (1: Lippa, 2: Arad, 3: Pécska, 4: Apátfalva).

► **Fig. 3:** Sectorul de câmpie al Mureșului și localizarea siturilor în care s-au efectuat măsurători (1: Lipova, 2: Arad, 3: Pecica, 4 Apátfalva).

► **Fig. 3:** The lowland section of Maros/Mureș and the location of measurement sites (1: Lipova, 2: Arad, 3: Pecica, 4: Apátfalva).





4. ábra: A mintaterületek és a felmért kereszt- és hossz-szelvények (1: kereszt-szelvény, 2: hossz-szelvény).

Fig. 4: Siturile în care au avut loc măsurătorile batimetrice și profilele transversale și longitudinale realizate (1: transversale, 2: longitudinale).

Fig. 4: The measurement sites and the surveyed cross-sections and longitudinal sections (1: cross-section, 2: longitudinal section).



5. ábra: A makói vízmérce és a felmért keresztmetsvény (1: teljes szelvény mérések, 2: sodorvonal mérések).

Fig. 5: Stația hidrologică Makó și profilele realizate (1: măsurarea lățimii totale, 2: măsurători la nivelul talvegului).

Fig. 5: The Makó gauge station and the surveyed cross-section (1: total width measurements, 2: thalweg measurements).

A mintaterületeken a felmérési keresztmetszvényeket úgy jelöltük ki, hogy a folyó szélességének (100–150 m) felénél ne legyenek nagyobb távolságra egymástól, a keresztmetszvények átlagos távolsága így 40 m volt (4. ábra). A felmérések során hossz-szelvények is készültek. A különböző időpontokban a kezdetben kijelölt mérési útvonal követése 2–5 m-es pontosságú Trimble Juno GPS segítségével történt. A méréseket eltérő vízállásoknál végeztük, 2011 és 2012 júniusában nagyvíznél, illetve 2011 szeptemberében és 2012 októberében kisvíznél. A nagyvizes mérések során a medertérképezés minden szelvényben motorcsónakkal, ADCP RioGrande vízsebesség és mélység mérő műszer segítségével történt (6. ábra). A műszer működési hátteréről Goda és Krikovszky 2002 ír részletesen. A pontos nyomvonalat, illetve a vízszint magasságát függőleges és vízszintes értelemben is cm-es pontosságú, Topcon típusú differenciál GPS segítségével rögzítettük. A kisvizes mérések során a szárazra kerülő homokpadok miatt a meder egy része víz felszíne felett húzódtott. Ezeket a területeket Sokkia Set650rx típusú mérőállomással mértük fel, a műszer pontos koordinátáit, illetve magasságát szintén differenciál GPS-szel határoztuk meg, így a vízi és szárazföldi méréseket egymáshoz lehetett illeszteni (6. ábra).

Mivel romániai és magyarországi területeken is végeztünk adatfelvételt, ezért az eredményeket egységesen UTM vetületi rendszerbe transzformáltuk, a magassági értékeket pedig a WGS 84 ellipszoidhoz viszonyítva adtuk meg. A felmért adatokból ArcGIS 9.3 szoftver segítségével készítettünk domborzatmodelleket, melyeket azután egymásból kivonva állapítottuk meg a változások mértékét. A modellek krigeléses interpolációval, 2 m-es felbontással készültek. A vizsgálatok során a felvételezési időpontok közötti nettó térfogatváltozás, valamint az erózióból és akkumulációból adódó teljes, vagy abszolút térfogatváltozás mértékét határoztuk meg 1 folyamkilométerre normalizálva. A különböző mérőeszközökből, a nyomvonal lekövetéséből, valamint a domborzatmodelllezés során adódó hibák együttes mértékének meghatározásához egy 500 m-es folyószakaszt egymás után kétszer is felmértünk. Ez alapján folyamkilométerenként 1000 m³ körüli mérési hibával kell számolni az egyes felmérések között.

A makói vízmérce szelvényében a rövid távú, hordalékszállításra vonatkozó méréseket GSSI 200 MHz-es antennával ellátott georadar és ADCP StreamPro segítségével végeztük el (5. és 6. ábra). A felvételezés során a teljes keresztmetszvényt 30 percenként, a sodorvonalat 30 m-es szélességben 10 percenként mértük fel. A georadar nagy pontosságú és igen részletes mérést tett lehetővé, amiből a szelvény területének változására lehetett következtetni. Az ADCP segítségével mindemellett a vizsgálható volt a mederalj elmozdulásának mértéke. A két értékből becsültük az egységnyi idő alatt a szelvényen áthaladó görgetett hordalék mennyiségét. A méréseket a későbbiekben mindenképp kalibrálni kell a klasszikus hordalékfogós módszerrel.

Profilele transversale au fost realizate în funcție de lățimea râului, astfel încât distanța dintre acestea să nu depășească jumătate din lățimea canalelor (100–150 m). Acesta este motivul pentru care s-au realizat în medie, din 40 în 40 de metri (Fig. 4). Au fost trasate și profile longitudinale în timpul investigațiilor. Pentru cartarea cu precizie a fost folosit un GPS Trimble Juno cu o acuratețe de 2–5 m. Măsurătorile s-au făcut la nivele hidrologice diferite: la ape mari, în iunie 2011 și 2012 și la ape mici în septembrie 2011 și octombrie 2012. La ape mari s-a măsurat cu ajutorul unei bărci și a unui sistem de măsurat viteza curentului și adâncimea apei (Fig. 6), după instrucțiunile operaționale descrise în detaliu de către Goda și Krikovszky (2002). Rutele exacte ale profilelor și adâncimea apei au fost măsurate cu ajutorul unui GPS diferențial Topcon, având o rezoluție centimetrică atât pe orizontală cât și pe verticală. La ape mici, deoarece în multe părți albia minoră era lispită de apă s-a folosit o stație totală Sokkia Set650rx. Calibrarea sistemului s-a realizat tot cu ajutorul unui GPS diferențial astfel ca măsurătorile plajelor, respectiv cele ale adâncimii apei să poată fi aduse într-un format comparabil (Fig. 6).

Deoarece s-au făcut măsurători atât în România cât și în Ungaria datele au fost proiectate în sistem UTM, iar altitudinile au fost considerate în raport cu elipsoidul WGS84. Din măsurătorile întreprinse au fost realizate modele digitale de elevație utilizând ArcGIS 9.3, iar prin scăderea acestora au fost identificate ratele modificărilor. În continuare modelele au fost realizate utilizând metoda kriging, având o rezoluție spațială de 2 m. Pe durata analizei au fost evaluate ratele modificărilor; spre exemplu: diferența volumului net de sedimente și diferența volumului total de sedimente, precum și suma materialelor erodate/acumulate corespunzătoare unei lungimi de 1 km. Pentru determinarea erorilor totale datorate echipamentelor de măsurare utilizate au fost realizate profile GPS și un model digital de elevație pe o secțiune de 500 m, în două momente diferite la interval de câteva ore distanță la ape mici. Pe baza comparațiilor s-a stabilit că este posibil să apară o eroare de 1000 m³/ km.

Măsurătorile dinamicii pe termen scurt au fost făcute la stația hidrologică Makó utilizându-se un GPR GSSI cu o antenă de 200 MHz, precum și sistemul ADCP StreamPro (Fig. 5 and 6). Toate profilele transversale au fost realizate din 30 în 30 de minute, talvegul fiind evaluat pe o lățime de 30 m la un interval de 10 minute. Rezultatele înregistrate cu GPR-ul au permis o evaluare de mare acuratețe, facilitând totodată calcularea modificărilor survenite la nivelul patului albiei în profil transversal. Mai mult, cu ajutorul sistemului ADCP viteza scurgerii la nivelul patului albiei a fost evaluată. Metoda ar trebui totuși calibrată în viitor cu ajutorul metodei clasice de captare a sedimentelor.

- ▶ **6. ábra:** Terepi felmérések nagyvíznél (A, B) és kisvíznél ADCP-vel (C, D) és mérőállomással (E, F), valamint a makói szelvényben georadarral (G, H).
- ▶ **Fig. 6:** Investigații de teren la ape mari (A, B) și mici utilizând ADCP (C, D) și stația totală (E, F) și măsurători în profil transversal la Makó (G, H).
- ▶ **Fig. 6:** Field surveys at high water (A, B) and low water using ADCP (C, D) and total station (E, F), and measurements in the Makó cross-section (G, H).



Eredmények

180 év mederfejlődése

A folyószabályozások előtt a Maros síksági szakaszát a folyásirány és a kanyarulatok fejlettsége alapján 10 egységre lehetett osztani. Ezek az egységek különböző medermintázatot és -dinamikát mutattak (7. ábra). A 175 km-es síksági szakaszon 5 nagyon aktívan fejlődő, a terep lejtéviszonyainak megváltozásával kapcsolatba hozható szakasz különíthető el. Ezek a területeken jelenleg és a jövőben is fokozott mederdinamika várható.

Az első nagyon aktív szakasz Ópálos és Mondorlak között figyelhető meg. Itt elágazó folyószakaszok homokpadok és mederközepi szigetek jelezik a hegységből kiérkező folyó hirtelen eséscsökkenését, a hegyégi és síksági zóna határát (7. ábra).

Mondorlak és Arad között a folyót enyhe kanyarulatokat fejlesztett, ami alacsonyabb lejtésre és kisebb energiára utal. Tovább haladva azonban ismét érett, néhol aszimmetrikus és túlfejlett kanyarulatok figyelhetők meg, melyek feltehetőleg tektonikus folyamatokat, azaz a Battonyai hát kiemelkedési zónájának határát jelezik (7. ábra). Kissé lejjebb Zádorlak és Pécska között már egyenlő távolságokra elhelyezkedő, stabil és jól fejlett kanyarulatok alakultak ki.

A harmadik nagyon aktív folyószakasz Pécska alatt húzódik (7. ábra). Itt a kanyarulatok torlódása a kiemelkedési zóna nyugati határát jelzi. A lejtés megnő, amit a folyó kanyarulatainak fejlesztésével kompenzál. Szemlak és Nagylak között a Maros irányt vált és egy törésvonal

Rezultate

180 de ani de evoluție

În stadiul anterior regularizărilor sectorul de câmpie al Mureșului putea fi divizat în 10 unități pe baza direcției de scurgere și a gradului de meandrare. Unitățile aveau o morfologie și o dinamică diferită (Fig. 7). Pe cei 175 de km de câmpie, 5 sectoare foarte active se evidențiază prin schimbări bruște de pantă. Acest aspect determină o dinamică ridicată a albiei în zonele respective atât în prezent, cât și foarte probabil în viitor.

Primul sector foarte activ poate fi identificat între Păuliș și Mândruloc. Albiile bifurcate, reniile de nisip și insulele marchează contactul zonelor mai înalte cu cele coborâte, unde pantele scad brusc (Fig. 7).

Între Mândruloc și Arad râul a dezvoltat bucle moderate, care indică o pantă redusă și o scădere a energiei. În aval apar din nou meandre mature, unele dintre acestea fiind asimetrice și supradezvoltate, indicând probabil prezența unei falii și anume marginea estică a zonei înălțate Battonya (Fig. 7). Puțin mai în aval, între Zădăreni și Pecica meandrele sunt aproximativ egal despărțite, stabile și bine dezvoltate.

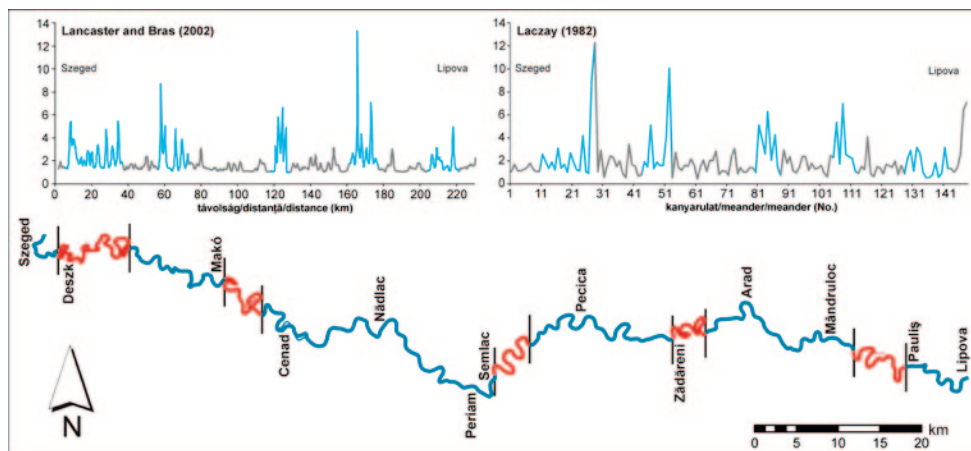
Următoarea secțiune foarte activă poate fi întâlnită în aval de Pecica (Fig. 7). Aici meandrele sunt apropiate și consemnează marginea vestică a zonei ridicate tectonic, iar râul este obligat să compenseze creșterea declivității terenului prin sporirea mărimii meandrelor. Între Semlac și Nădlac Mureșul își schimbă direcția și curge în lungul unei falii

mentén halad tovább (Laczay 1975). Itt főleg fonatos folyószakaszok találhatóak, a kanyarulatok fejletlenek és a folyó futása meglehetősen stabil. Ugyanez igaz a Nagylak–Csanád szakaszon, de ez esetben a kanyarulatok sokkal fejlettebbek.

A negyedik, megnövekedett energiájú és aktivitású szakasz Csanád és Makó között húzódik (7. ábra). Kialakulása annak köszönhető, hogy a folyó itt éri el hordalékkúpja szélét, lejtése és energiája újból megnő. A folyószakasz morfológiája hasonlít az Ópálos és Mondorlak közötti szakaszra. Makótól Deszkgig jól fejlett kanyarulatok jellemzőek, de a torkolat környékén a kis lejtésnek köszönhetően számos torzult kanyarulat is megfigyelhető (7. ábra).

(Laczay 1975), aici putând fi identificate secțiuni despletite cu meandre slab dezvoltate, râul fiind destul de stabil. Aceleași caracteristici sunt specifice următorului sector cuprins între Nădlac și Cenad, dar cu meandre mai dezvoltate.

A patra secțiune este caracterizată de o sporire a energiei și activității râului între Cenad și Makó (Fig. 7). Această zonă a apărut datorită apropierii râului de marginea conului aluvionar, unde pantele cresc. Formele sunt similare cu cele de lângă Păuliș și Mândruloc. Mai jos de Makó pot fi întâlnite meandre mature, bine dezvoltate, dar în zona gurii de vărsare câteva meandre distorsionate și înghesuite sunt prezente datorită existenței unor suprafețe cu înclinare moderată (Fig. 7).



7. ábra: A szabályozások előtti Maros futása, illetve a kanyarulatok torlódási zónái Laczay (1982), valamint Lancaster és Bras (2002) paraméterei alapján.

Fig. 7: Cursul pre-regularizare al Mureșului și zonele de meander congestionate, având la bază parametrii lui Laczay (1982) și Lancaster and Bras (2002).

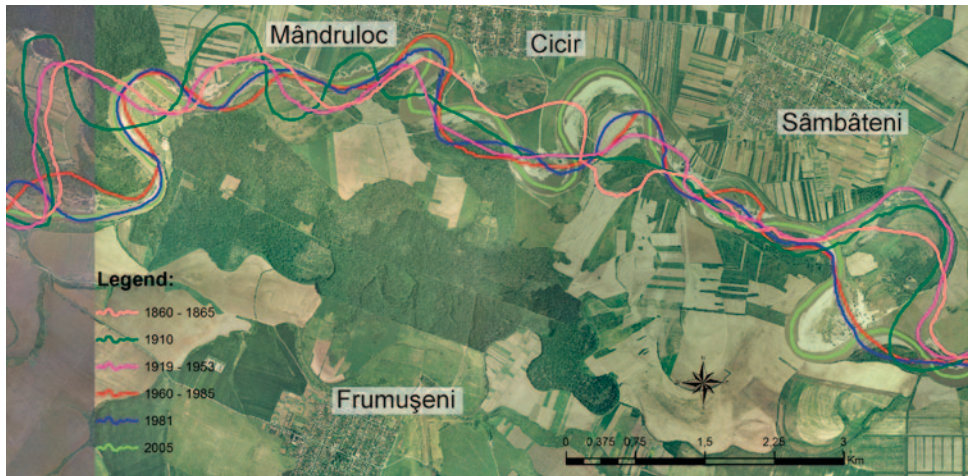
Fig. 7: The course of the pre-regulation Maros/Mureș and zones of meander congestion based on parameters of Laczay (1982) and Lancaster and Bras (2002).

Korábbi vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a Szemlak–Szeged szakaszon az 1829-es és 1865-ös térképek alapján a természetesen lefűződött holtágaknak, valamint a kanyarulatfejlődésnek köszönhetően egyes felülnézeti paraméterek értékeiben 8–10% különbség mutatkozott (Sipos 2006). Ez a vizsgált 30–40 éves időintervallumban a folyó természetes változékonyságának tekinthető.

A 19. századi folyószabályozások következtében viszont a formák és a folyamatok megváltoztak. A meder lejtése és a folyó energiája jelentősen megnőtt, amely több helyen eróziót és a meder kiszélesedését eredményezte (Török 1977). Azok a szakaszok, melyeket később a 20. század folyamán partbiztosítással stabilizáltak (pl. Lippa alatt, Arad és Pécska környékén, Makó alatt) az elmúlt 50 évben csak alig változtak. Mindezek ellenére voltak olyan szakaszok, amelyek a folyószabályozások után teljesen átalakultak. Különösen azon

În ceea ce privește secțiunea cuprinsă între Semeac și Szeged s-a constatat că între 1829 și 1865 diferențele dintre parametrii morfometrici calculați au atins și 8–10%, datorită gâtuiturilor naturale și a evoluției meandrelor (Sipos 2006). Această rată poate fi considerată ca fiind expresia variabilității naturale a râului pentru o perioadă de 30–40 ani.

Formele și procesele s-au schimbat semnificativ după regularizările din secolul al XIX-lea, panta albiei și energia ridicată conducând la o eroziune accentuată și la o lărgire a albiei în mai multe locații (Török 1977). Secțiunile stabilizate în secolul XX în urma lucrărilor hidrotehnice din aval de Lipova, de lângă Arad și Pecica, sau din aval de Makó au generat modificări reduse în ultimii 50 de ani. Au fost însă și sectoare care au cunoscut schimbări majore după regularizare. În mod special, e cazul acelor areale dezvoltate intens în secțiunile cu maluri



8. ábra: A Maros futásának változása az Ópálos–Mondorlak szakaszon az utóbbi 150 évben.

Fig. 8: Evoluția cursului Mureșului în sectorul Păuliș–Mândruloc în ultimii 150 de ani.

Fig. 8: The evolution of the course of Maros/Mureș on the Păuliș–Mândruloc section in the past 150 years.

területek fejlődtek dinamikusan, ahol a partvonalakat nem biztosították és a folyó aktivitása a folyószabályozások előtt is jelentős volt (8. ábra).

Az intenzív mederfejlődésre jó példa az Ópálos és Mondorlak közötti mederszakasz (8. ábra). Ezen a területen a kanyarulat-átvágások és a szabályozás következtében, mintegy 30%-kal csökkent a folyó hossza (25,5 km-ről 18,6 km-re). A Maros az emberi beavatkozásra érzékenyen reagált és új kanyarulatokat kezdett fejleszteni. A kanyarulatfejlődés üteme kezdetben igen gyors volt, majd az 1980-as évekre lelassult (8. ábra). Az elmúlt 30 évben azonban a változások mértéke megduplázódott, így az Ópálos–Mondorlak szakasz hossza 1980 és 2006 között 20,9 km-ről 23,1 km-re nőtt, ami évente közel 100 m-es növekedést jelent. A kanyarulatfejlődés felgyorsulása egyértelműen a mederből történő homokkitermeléssel és az ennek következtében felgyorsuló parterezióval hozható kapcsolatba. Egyes szakaszokon a meder elterelése is hozzájárult a hossznövekedéshez. A folyó jelenlegi hossza még nem éri el a szabályozás előtti értéket. A jövőben ezért további erózió várható, ami elsősorban Mondorlakot veszélyeztetheti.

Hasonlóan intenzív mederfejlődés figyelhető meg a Pécska és Szemlak közötti szakaszon is (9. ábra), igaz itt a legjelentősebb változások a szabályozások és az 1950-es évek közötti időszakban történtek. Természetes állapotban a szakasz hossza 29,1 km volt, ezt a szabályozás során több mint 50%-kal, 13,9 km-re csökkentették. A kanyarulatok intenzív fejlődése itt is megindult, de ez főként a Pécska alatti kevésbé szabályozott szakaszt érintette (9. ábra). Az 1950-es évekre a folyó hossza 19,3 km-re nőtt, ami több mint

instabile și care, au fost afectate de o activitate fluvială sporită înainte de regularizare (Fig. 8).

Un exemplu foarte potrivit de dinamică accelerată îl reprezintă sectorul dintre Păuliș și Mândruloc (Fig. 8). Pe această porțiune lucrările de regularizare au diminuat lungimea râului cu 30%, de la 22,5 km la 18,6 km. Mureșul a răspuns într-o manieră foarte sensibilă la intervențiile antropice și a dezvoltat noi meandre, mai întâi într-un ritm mai accentuat, iar apoi procesul s-a încetinit până în anii '80 ai deceniului trecut (Fig. 8). În ultimii 30 de ani rata modificărilor s-a dublat, iar între 1980 și 2006 lungimea secțiunii Păuliș–Mândruloc a crescut de la 20,9 la 23,1 km, cu aproximativ 100 m în medie pe an. Accelerarea dezvoltării meandrării poate fi, în opinia noastră, determinată de exploatarea intensă din albie și de intensificarea eroziunii malurilor. În anumite porțiuni devierea artificială a contribuit la creșterea lungimii râului. Lungimea actuală a râului nu a atins valoarea dinainte de regularizare, astfel că eroziunea este posibil să se intensifice în viitor și să amenințe localitatea Mândruloc.

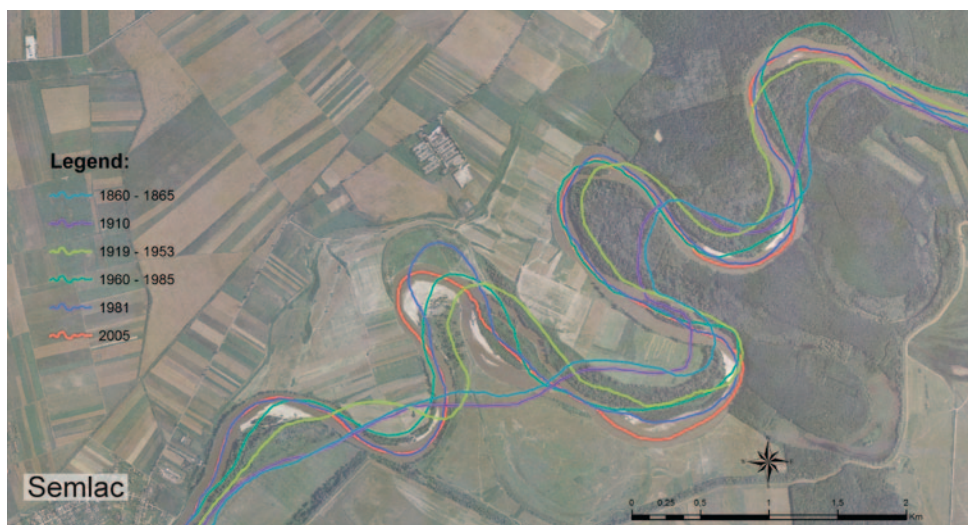
De asemenea, intensificarea activității a putut fi determinată în sectorul Pecica–Semlac (Fig. 9), datorită schimbărilor dramatice survenite în intervalul care a urmat regularizărilor și până în anii 50 ai secolului trecut. În starea sa naturală secțiunea avea o lungime de 29,1 km, iar apoi lungimea sa a scăzut cu peste 50%, la 13,9 km. Formarea meandrelor a început și aici, cu precădere în aval de Pecica, unde râul a fost mai puțin afectat de intervenții antropice (Fig. 9). După deceniul al 5-lea al secolului XX lungimea râului a crescut la 19,3 km, ceea ce se traduce

100 m/év növekménynek felel meg. Azóta a változások inkább csak az újból kialakuló meanderező szakaszt érintették. Itt az egyik kanyarulat például mára már közel került a természetes lefűződéshez (9. ábra). Összehasonlítva az Ópálos–Mondorlak szakasszal, a kavics és homokkitermelés hatásai itt kevésbé érzékelhetőek, így az elmúlt 30–40 évben a külső ívek eróziója kevésbé volt intenzív. Ennek oka a részleges mederrendezés és a legaktívabb bányászati tevékenységtől való nagyobb távolság lehet.

A 19. századi szabályozások óta a folyó hosszának növekedése általánosan tekinthető a romániai szakaszon. Mindez a folyó természetes reakciójaként értékelhető, hiszen igyekszik visszatérni eredeti mintázatához és morfológiájához. A hossz mellett a meder szélessége és a mederközepi szigetek kiterjedése is jelentősen változott. Ezek a folyamatokat azonban harmadik mintaterületen, a két ország közötti határszakaszon, pontosabban kimutathatók.

printr-o rată anuală de peste 100 m. De atunci modificările au afectat zonele în care s-au format noi meandre, unul dintre acestea fiind deja gătit în mod natural (Fig. 9). În comparație cu sectorul Păuliș–Mândruloc, efectele excavărilor din albie sunt mult mai reduse, eroziunea malurilor fiind aici mai puțin viguroasă în ultimii 30–40 de ani. Aceasta se datorează parțial structurilor de control ale râului – asociate cuverturii sedimentare a patului albiei – și distanței față de balastiere.

Dacă analizăm sectorul românesc se poate surprinde o creștere generală a lungimii râului după regularizările din secolul 19. Această evoluție se datorează tendinței naturale a râului de a-și regăsi echilibrul natural și morfologia inițială. Ceilalți parametrii (lățimea râului, extensiunea insulelor) au surprins de asemenea modificări notabile, care însă vor fi prezentate pentru sectorul al treilea, cel de graniță dintre România și Ungaria.



9. ábra: A Maros futásának változása a Pécska–Szemlac szakaszon az utóbbi 150 évben.

Fig. 9: Evoluția cursului Mureșului în sectorul Pecica–Semlac în ultimii 150 de ani.

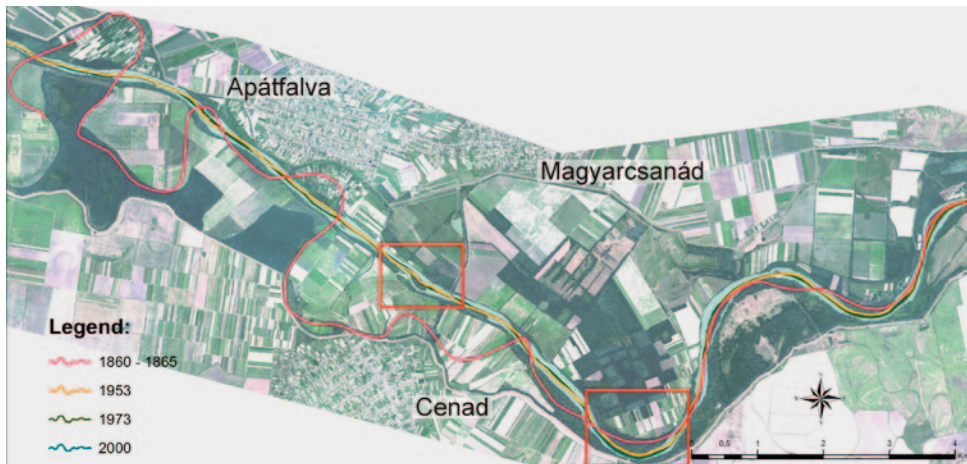
Fig. 9: The evolution of the course of Maros/Mureș on the Pecica–Semlac section in the past 150 years.

A 22 km hosszú határszakasz fejlődése egyedi, mivel ezt a területet a 19. századi szabályozás óta emberi beavatkozások alig érték. Így a rajta megfigyelhető változások jól jelzik a szabályozások morfológiai és hidrológiai hatásait és a folyó ezekre adott válaszait (10. ábra). Természetes állapotában ez a szakasz meanderező-anasztomizáló mintázatot mutatott. A főmeder teljes hossza 40,5 km volt, mely a szabályozás hatására 23,8 km-re rövidült. Annak ellenére, hogy további beavatkozások nem érték, azaz szinte szabadon fejlődhetett a folyó hossza itt alig nőtt. Kismértékű kanyarulatfejlődés csupán az eredetileg is meanderező, rendkívül stabil Nagylak–Csanád közötti szakaszon tapasztalható (11. ábra).

Miért nem fejlődtek ki az elmúlt 150 évben új kanyarulatok a korábban meanderező és anasztomizáló Apátfalva melletti szakaszokon? Ennek valószínűsíthető oka, hogy a Maros mintázata és a hordalékszállításának dinamikája itt oly mértékben megváltozott, hogy új egyensúlyi állapotot alakult ki (Sipos és Kiss 2004). Ennek során a folyó fonatos jellegget öltött: széles és sekély medret alakított ki, melyben intenzív zátony- és szigetképződés jellemző mind a mai napig. Ez hozzájárul a folyó energiaviszonyainak részleges stabilizálásához. A formák dinamikáját az 1950 óta rendelkezésre álló légifotók segítségével részletesen is megvizsgáltuk.

Sectorul de 22 km de graniță are o istorie proprie, deoarece, exceptând lucrările de regularizare din secolul al-XIX-lea a fost foarte puțin afectat de intervenția antropică. De aceea este un bun indicator de evaluare a modificărilor hidrologice și morfologice determinate atât de procese naturale cât și artificiale (Fig. 10). În stadiul său natural această secțiune s-a încadrat tipului meandrat, anastomozat, având o lungime totală de 40,5 km, care s-a redus la 23,8 km după regularizări. Spre deosebire de celelalte sectoare lungimea râului a crescut intens de atunci, evoluând aproape natural, intervenția antropică fiind redusă. O dezvoltare sensibilă a meandrelor poate fi detectată în sectorul stabil dintre Nădlac și Cenad, afectat de meandrare înainte de regularizări (Fig. 11).

De ce nu s-a intensificat dezvoltarea meandrelor în sectorul din jurul localității Apátfalva în ultimii 150 de ani în condițiile existenței unui curs meandrat și anastomozat în secolul al XIX-lea? Motivul îl constituie schimbarea dramatică a morfologiei râului și probabil a dinamicii sedimentelor, astfel încât Mureșul și-a găsit un nou stadiu de echilibru (Sipos și Kiss 2004). Acest stadiu este caracterizat printr-un curs despletit, lat și puțin adânc și o dinamică accentuată a talvegului, plajelor și insulelor. Dinamica acestor elemente a putut fi investigată mai atent cu ajutorul aerofotogramelor din fiecare decadă ce a urmat anului 1950.



10. ábra: A Maros futásának változása a Nagylak–Apátfalva szakaszon az utóbbi 150 évben. A piros kerettel jelölt területek a 11. ábrán láthatók kinagyítva.

Fig. 10: Evoluția cursului Mureșului în sectorul Nădlac–Apátfalva în ultimii 150 de ani. Zonele marcate de dreptunghiuri roșii sunt prezentate în detaliu în Fig. 11.

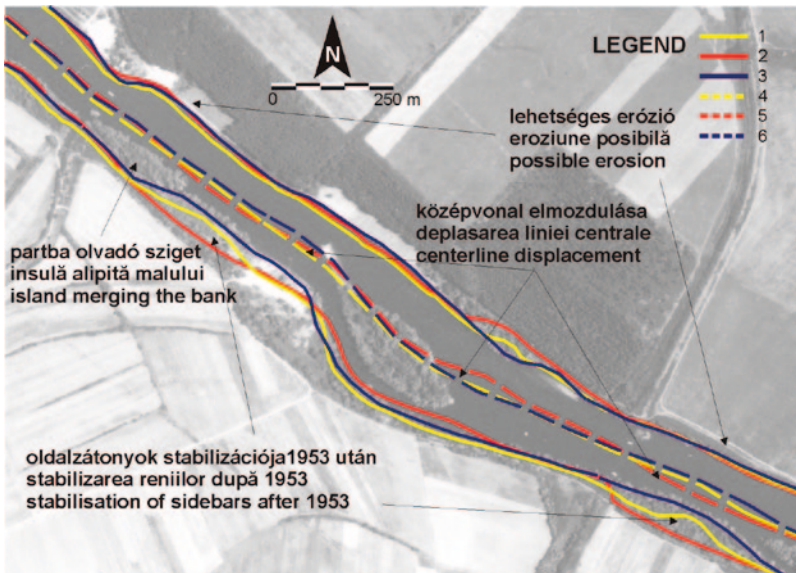
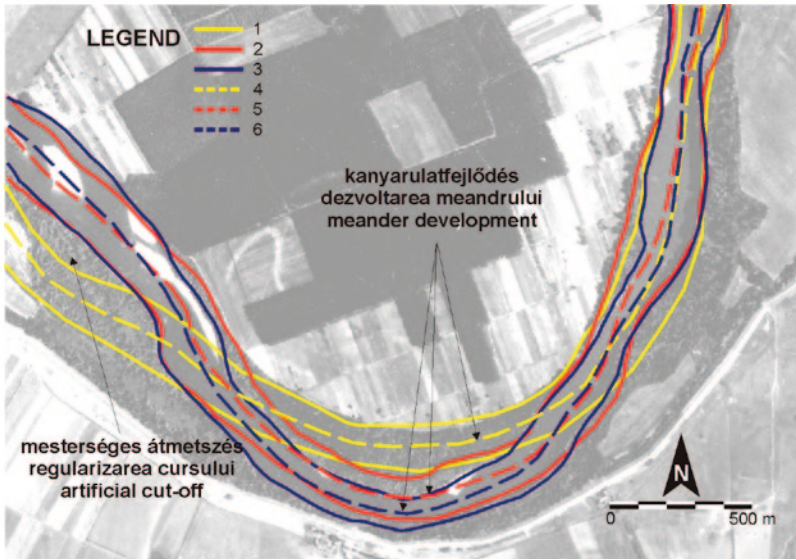
Fig. 10: The evolution of the course of Maros/Mureș on the Nădlac–Apátfalva section in the past 150 years. The areas marked by red rectangles are shown in detail on Fig. 11.

Jelenlegi és korábbi kutatásaink alapján (Sipos és Kiss 2003, Kiss és Sipos 2009) megállapítható, hogy a Maros szigeteinek fejlődése összetett folyamat. A növényzettel borított szigetek kezdeményei a nagyobb árvizekkor képződő magas zátonyfelszíneken alakulnak ki a fűzfa és nyárfa magoncok megtelepedésének köszönhetően. A így kialakult szigetmagoncok csak akkor stabilizálódnak véglegesen, ha a megtelepedést hosszú kis- és középvizes időszak követi, és a magoncok meg tudnak erősödni. A formák így már ellenállnak a soron következő árvizeknek (12. ábra). A növényzet megtelepedése és a stabilizáció között 4–5 év telik el (Sipos 2006).

A növényzet által megkötött szigetek meglepő dinamikával fejlődnek tovább. Egy részük folyásirányban „vándorol”, azaz sodrással szembeni végük erodálódik,

Pe baza cercetărilor noastre prezente și din trecut (Sipos și Kiss 2003, Kiss și Sipos 2009) am descoperit că formarea insulelor reprezintă un proces complex. Structura insulelor acoperite de vegetație se dezvoltă în special atunci când reniile înălțate de inundațiile majore sunt colonizate de specii de salcie și plop. Stabilizarea finală a insulelor se poate produce doar dacă persistența apelor joase și medii urmează colonizării vegetale, iar semințele speciilor amintite pot evolua. În acest fel insulele vor rezista următoarelor inundații (Fig. 12). În general e nevoie de 4–5 ani între colonizare și stabilizarea acestora (Sipos 2006).

Formele stabilizate se vor dezvolta în continuare într-un ritm accelerat. Poziția lor în cadrul albiei putându-se schimba, de vreme ce partea sa dinspre amonte este erodată, iar cea din aval aluvionată,



11. ábra: A partvonal és középvonal változásai a viszonylag stabil határszakaszon a szabályozások óta (1: partvonal 1865-ben, 2: partvonal 1953-ban, 3: partvonal 2000-ben, 4: középvonal 1865-ben, 5: középvonal 1953-ban, 6: középvonal 2000-ben).

Fig. 11: Modificările suferite de maluri și de linia centrală într-un sector relativ stabil din zona graniței (1: malul în 1865, 2: malul în 1953, 3: malul în 2004, 4: linia centrală în 1865, 5: linia centrală în 1953, 6: linia centrală în 2000).

Fig. 11: The changes of bankline and centre line on the relatively stable border section (1: bankline in 1865, 2: bankline in 1953, 3: bankline in 2000, 4: centre line in 1865, 5: centre line in 1953, 6: centre line in 2000).

miközben alsó végükön a növényzet újabb és újabb felszíneket stabilizál (12. ábra). A szigetek vándorlásának átlagos sebessége elérheti a 10 m/évet.

materialele putând proveni chiar din partea din amonte (Fig. 12). Migrarea insulelor poate avea în medie rate de 10 m/an.



12. ábra: Szigetek születése és fejlődése. (A) Fiatal sziget kezdemény Apátfalvánál. (B) Egy vándorló sziget Magyarcsanádnál, alsó végén jól látható az újabb felszíneket stabilizáló fiatal növényzet.

Fig. 12: Nașterea și dezvoltarea insulelor. (A) O nouă insulă apărută la Apátfalva. (B) O insulă care migrează la Cenadul Unguresc cu vegetația colonizând noi suprafețe ale părții sale terminale.

Fig. 12: The birth and development of islands. (A) A new island core being born at Apátfalva. (B) A migrating island at Magyarcsanád, note that at its lower end vegetation colonises new surfaces.

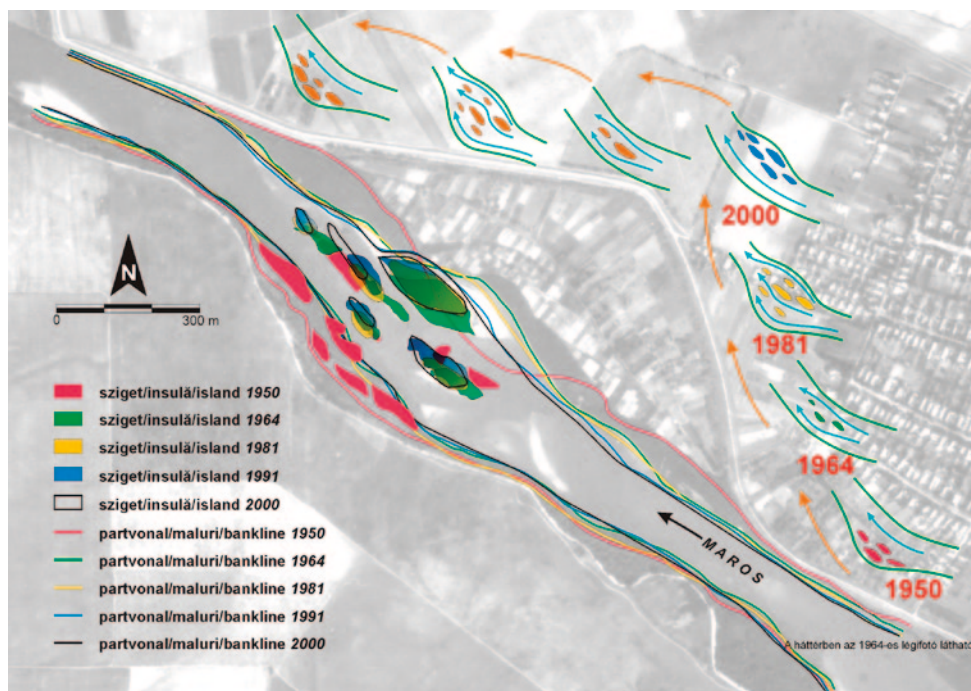
► **13. ábra:** A fonatos apátfalvi medertágulat ciklikus fejlődése.

► **Fig. 13:** Dezvoltarea ciclică a sistemului de insule împletite de la Apátfalva.

► **Fig. 13:** Cyclic development of the braided island system at Apátfalva.

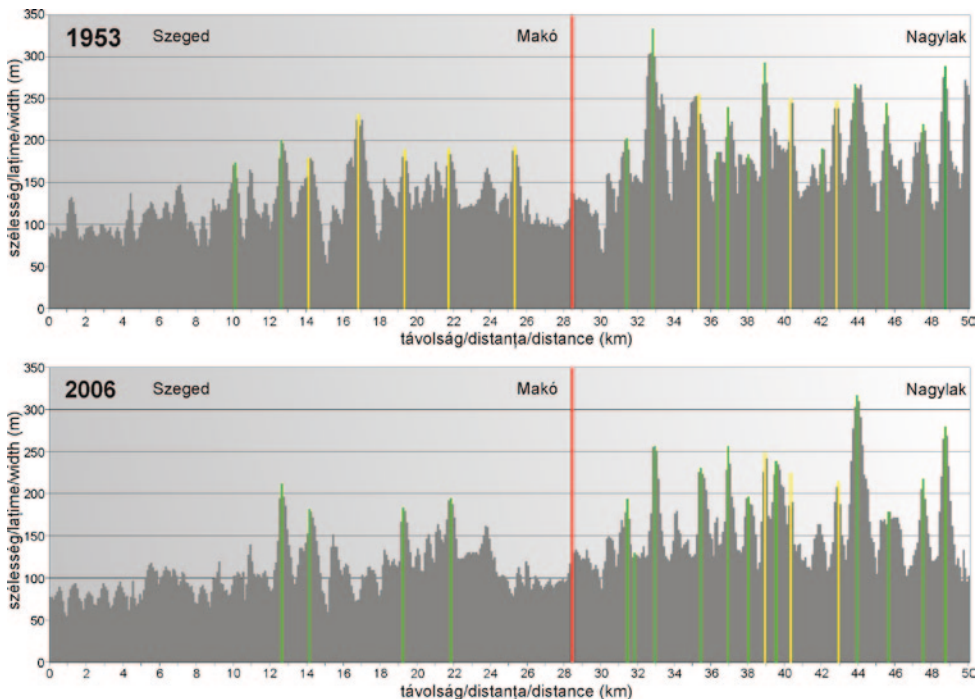
A növekvő és vándorló szigetek a mellékágak eltömődésével végül a partba is olvadhatnak (11. ábra), ami jelentősen befolyásolja a meder áramlási viszonyait, ezáltal parteróziót valamint további szigetképződést idézhet elő. A formák képződése és fejlődése ciklikus folyamatnak tekinthető, melynek fő fázisai a sziget kialakulása, vándorlása végül partba olvadása (13. ábra). Ez a folyamat elsősorban a kiszélesedő, akár 200–250 m széles és 1–2 km hosszú gázló szakaszokon jellemző (Sipos et al. 2007). Ezeket a szakaszokat medertágulatoknak nevezzük. A határszakasz tágulatainak kulcsszerepük van a hosszabb távú morfológiai stabilitás megőrzésében, mivel a folyó sebességét csökkentik, s így kevesebb energia jut a meanderek kialakítására (Sipos és Kiss 2004, Kiss és Sipos 2007).

Creșterea insulelor este influențată și de dinamica malurilor, în condițiile unei colmatări intense a brațelor (Fig. 11). Acest proces joacă un rol important în hidraulica albiei minore, generând eroziunea malurilor și formarea insulelor. Aceste procese pot fi înțelese ca parte a evoluției ciclice a insulelor în diferitele stadii: inițiere, migrare și asimilare (Fig. 13). Schimbările ciclice sunt caracterizate de modificări care pot avea o amplitudine de 1–2 km în condițiile unui râu lat (200–250 m lățime) (Sipos et al. 2007). Aceste unități largi sunt numite „panglici” și au un rol cheie în preservarea stabilității pe termen lung a râului, de vreme ce aceste brațe disipează o parte importantă din energia râului, energie care ar fi folosită în procesul de meandrare (Sipos și Kiss 2004, Kiss și Sipos 2007).



A fentiek alapján a szigetek száma és kiterjedése, valamint a medertágulatok szélességének változása jól jelzi a folyó futásának várható stabilitását (Sipos et al. 2007). A légifotók elemzése alapján a Nagylak–Makó szakaszon az utóbbi 60 évben a mederközepi szigetek száma 26-ról 21-re csökkent, míg átlagos területük 0,5-ről 1,2 hektárra emelkedett. Mindez jórészt az 1990-es és 2000-es években jellemző kisvizés, kisenergiájú időszaknak köszönhető, amely elősegítette a zátonyfelszínnek növényzet általi megkötését. Mindeközben általános mederszűkülést is kimutatható, amely elsősorban a tágulati szakaszokat érinti

Ca și o consecință a celor prezentate anterior, numărul și extensiunea insulelor și schimbările lățimii albiilor despletite sunt buni indicatori ai stabilității râului (Sipos et al. 2007). Analiza aerofotografele noastre arată că în sectorul de graniță dintre Nădlac și Makó numărul insulelor din cadrul albiei a scăzut de la 26 la 21, iar suprafața lor a crescut semnificativ, de la 0.5 la 1.2 ha în ultimii 60 de ani. Acest lucru este datorat scurgerii scăzute și energiei reduse a râului din anii 1990 și 2000, care au permis colonizarea suprafețelor reniilor în curs de dezvoltare. Între timp o îngustare a albiilor a fost detectată, afectând în principal albiile



14. ábra: A folyó szélessége 100 méterenként a Nagylak–Szeged szakaszon 1953-ban és 2006-ban.

Fig. 14: Lățimea râului la intervale de 100 m între Nădlac și Szeged în intervalul 1953 și 2006.

Fig. 14: The width of the river at every 100 m on the Nădlac–Szeged section in 1953 and 2006.

(14. ábra). A határszakaszon a folyó átlagszélessége 1953 és 2006 között 180-ról 156 m-re csökkent, ami több mint 10%-os mederszűkülést jelent.

despletite (Fig. 14). Pe sectorul de graniță lățimea medie a scăzut de la 180 la 156 m între 1953 și 2006, ceea ce reprezintă o îngustare mai mare de 10%.

2. táblázat: A folyó szélességének változása a Pécska–Nagylak, a Nagylak–Makó és a Makó–Szeged szakaszokon.

Tabelul 2: Modificările lățimii Mureșului în sectorul Pecica–Nădlac, Nădlac–Makó, și Makó–Szeged.

Table 2: Changes in width values on the Pecica–Nădlac, Nădlac–Makó and Makó–Szeged sections.

	<i>Pecica–Nădlac (44.3 km)</i>		<i>Nădlac–Makó (22 km)</i>			<i>Makó–Szeged (28 km)</i>		
	1980	2006	1953	1973	2006	1953	1973	2006
w_{\max} (m)	384	462	333	304	321	231	219	202
w_{\min} (m)	81	69	66	111	83	53	70	59
w_{mean} (m)	170	165	189	180	156	124	120	108

w_{\max} : maximális szélesség/lățimea maxima/maximum width, w_{\min} : minimális szélesség/lățimea minima/minimum width, w_{mean} : átlag szélesség/lățimea medie/mean width

A Pécska és Nagylak közötti szakaszon szintén kimutatható a meder szűkülése. Itt az átlagszélesség 170 m-ről 165 m-re csökkent 1980 és 2006 között (2. táblázat). A fentiekhez hasonlóan a szigetek száma is csökkent, azaz a fenti folyamatok a bányászat által átalakított területek kivételével a Maros teljes síksági szakaszán jellemzőek. Ez alapján feltételezzük, hogy a szigetrendszerek és a medertágulatok szabályozó szerepe csökken a folyó morfológiájának fejlődésében. Mindez fokozódó eróziós tevékenységhez, illetve az eredeti mintázathoz (meanderező) történő visszatéréshez vezethet elsősorban azokon a szakaszokon, melyek viszonylag szabadon fejlődhetnek (például Nagylak és Apátfalva között). Mindamellet a megfigyelt folyamatok sebessége alapján jelentősebb átalakulás csak hosszabb távon várható.

În cazul sectorului Pecica–Nădlac îngustarea albiei a fost de asemenea detectată, lățimile medii scăzând de la 170 la 165 m între 1980 și 2006 (Tabelul 2). Într-un mod similar numărul insulelor active a scăzut. Aceste procese sunt vizibile pe tot cursul inferior al Mureșului, cu excepția sectoarelor afectate de exploatarea din albie.

În consecință sugerăm că rolul insulelor și al sectoarelor despletite de albie în controlarea energiei acestuia s-a diminuat. Această evoluție conduce la accelerarea proceselor de eroziune și în final la întoarcerea la forma originală în secțiunile în care râul nu este constrâns antropice (ex: sectorul Nădlac–Apátfalva). Cu toate acestea, pe baza ratelor de dinamică detectate, putem presupune că aceste procese pot conduce la schimbări semnificative doar pe termen lung.

Mint láttuk, a változások iránya hasonló, de az átalakulás sebessége változó a folyó különböző szakaszain. A legintenzívebb mederfejlődés azokon a szakaszokon jellemző, ahol tektonikus hatások is befolyásolják a folyó morfológiáját és dinamikáját. Azonban a stabilabb szakaszokon megfigyelhető kevésbé intenzív folyamatok is előidézhetnek nem kívánt változásokat, például eróziót a szabályozási művek (deszki kanyarulat) és más infrastruktúrák (pécskai híd) közelében, illetve egyes természeti értékek pusztulását (pl. mederközepi szigetek). Ezért hosszú távon is nagyon fontos lenne a változások nyomon követése, hiszen így megalapozhatók azok a stratégiai döntések, melyekkel mind a folyó stabilitása, mind pedig természeti értékei megőrizhetőek.

A projekt keretében ezért az elérhető román és magyar adatforrásokból egy egységes térinformatikai rendszert építettünk ki. Ez az adatbázis az alapja a jövőben tervezett monitoring jellegű vizsgálatoknak, melyek segítségével követni lehet a folyó jövőbeli fejlődését.

Rövid távú mederfejlődés

Mint már említettük, a Maros nagy mennyiségű gőrgötett hordalékot szállít. A dűnék és zátonyok formájában történő hordalékmozgásnak fontos szerepe van a folyó jelenlegi stabilitásának és formakincsének megőrzésében. Az áramló víz energiájának egy része ugyanis a fenék-hordalék szállítására, áthalmazására fordítódik, valamint a jelenleg megfigyelhető formák kialakulásához szintén elengedhetetlen a nagy mennyiségű hordalék. Mindemellett a homokos-kavicsos

După cum s-a văzut, tendința modificărilor este similară, dar amplitudinea variază în funcție de fiecare secțiune în parte. Cel mai afectate sunt acele suprafețe a căror morfologie și dinamică este influențată de tectonică. Repercursiunile acestor schimbări în arealele relative stabile pot conduce la evenimente nedorite, cum ar fi afectarea structurilor antropice (ex: podul de la Pecica) de către eroziune sau dispariția unor elemente cu valoare naturală ridicată (ex: insulele). De aceea pe termen lung este necesară o monitorizare a modificărilor, pentru a dezvolta cea mai bună strategie de preservare a stabilității râului (absența eroziunii) și a valorilor naturale (insulele și sectoarele despeltite).

În cadrul acestui proiect a fost realizată o analiză GIS uniformă a tuturor tipurilor de date (imagini și hărți) disponibile atât pentru România cât și pentru Ungaria. Această bază de date va reprezenta structura de referință în vederea continuării, în viitor, a monitorizării râului de către membrii proiectului.

Evoluția albiei pe termen scurt

După cum s-a arătat, râul Mureș transportă o cantitate mare de sedimente, atât în suspensie cât și la nivelul patului albiei. Dinamica sedimentelor reflectată de forma dunelor și reniilor joacă un rol cheie în susținerea stabilității și morfologiei râului, de vreme ce o parte din energia râului este folosită pentru transportul și redistribuirea sedimentelor, iar dezvoltarea structurilor aluvionare din albie necesită livrarea unei cantități importante de sedimente. Pe lângă aceasta,

fenékhordalék kiváló építőanyag, így fontos természeti erőforrás is egyben. Elsősorban ezek a tényezők motiválták a folyó hordalékegyenlegére és hordalékháztartására vonatkozó vizsgálatainkat.

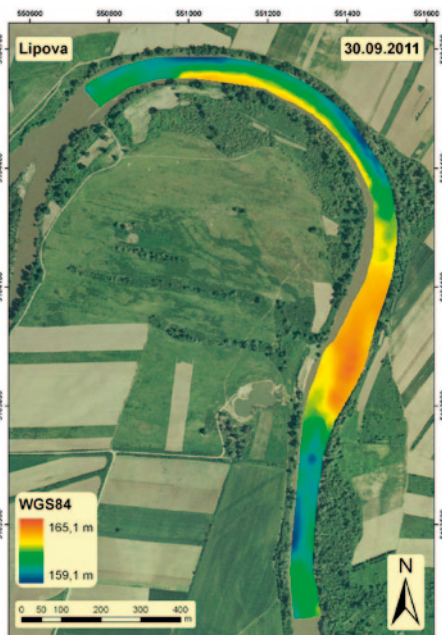
Első mintaterületünket a homokkitermelés által leginkább érintett szakasz felett, Lippánál jelöltük ki (3. ábra). Ezen a szakaszon a folyó esése, amely meghatározza energiáját és hordalékszállító képességét, 20 cm/km körüli. A hordalék főként kavicsból áll, de kisebb mennyiségben homok és iszap is található a mederben.

A formák és a meder felépítése a felmérések között alig változott. Ennek megfelelően jelentősebb hordalék pulzusokat nem lehetett kimutatni (15. ábra). A négy felmérés során a hordalékmenyiség nettó változása minimális volt, azaz összességében a jelenlévő hordalék mennyisége nem csökkent (erózió) de nem is nőtt (akkumuláció) (3. táblázat). Az abszolút változás, azaz a zátonyok formájában átmozgatott hordalék mennyisége nem haladta meg a 20 000 m³-t folyam-kilométerenként (3. táblázat). Ez azt jelenti, hogy az alföldi szakaszra a vizsgált időszakban valószínűleg nem érkezett nagyobb mennyiségű hordalék a hegységi területekről.

patul albiei, constituit din nisipuri și pietrișuri și reprezentând materialul de componență primar, constituie principala resursă naturală a regiunii. Acestea sunt cele mai importante motive pentru care s-a investigat bugetul de sedimente pe diferite sectoare ale Mureșului.

Primul sit a fost localizat lângă Lipova, în amonte de sectorul în care se găsesc cele mai multe balastiere (Fig. 3). În acest sector panta râului condiționează energia acestuia asigurând o capacitate de transport a sedimentelor de 20 cm/km. Patul albiei este compus în special din pietriș și subordonat din nisip și măr.

Morfologia și arhitectura patului albiei s-au modificat substanțial între campaniile de măsurare. De asemenea, nu au putut fi detectate în acest sector diferențe notabile în ceea ce privește transportul de sedimente (Fig. 15). Variația netă a cantității de sedimente a fost minimă, nefiind evidențiate modificări în ceea ce privește eroziunea și acumularea generală (Tabelul 3) cu ocazia celor patru campanii de măsurare. În termeni ai dinamicii absolute însă cantitatea de sedimente remodelată sub forma barelor nu a depășit 20 000 m³/km de râu (Tabelul 3). Aceasta înseamnă că întreaga cantitate de sedimente care este transportată în sectorul de câmpie al Mureșului este una moderată.



15. ábra: Mederfejlődés a Lippa melletti felmérési területen: változás alig észlelhető.

Fig. 15: Schimbările canalului de albie minoră la situl de măsurare Lipova, cu o modificare puternică a patului albiei.

Fig. 15: Channel development at the Lipova measurement site, note that the riverbed hardly changes.

3. táblázat: A görgetett hordalék mennyiségének változása (hordalékháztartás) a Maros lippai szakaszán. Az értékek 1 folyamkilométerre vonatkoznak.

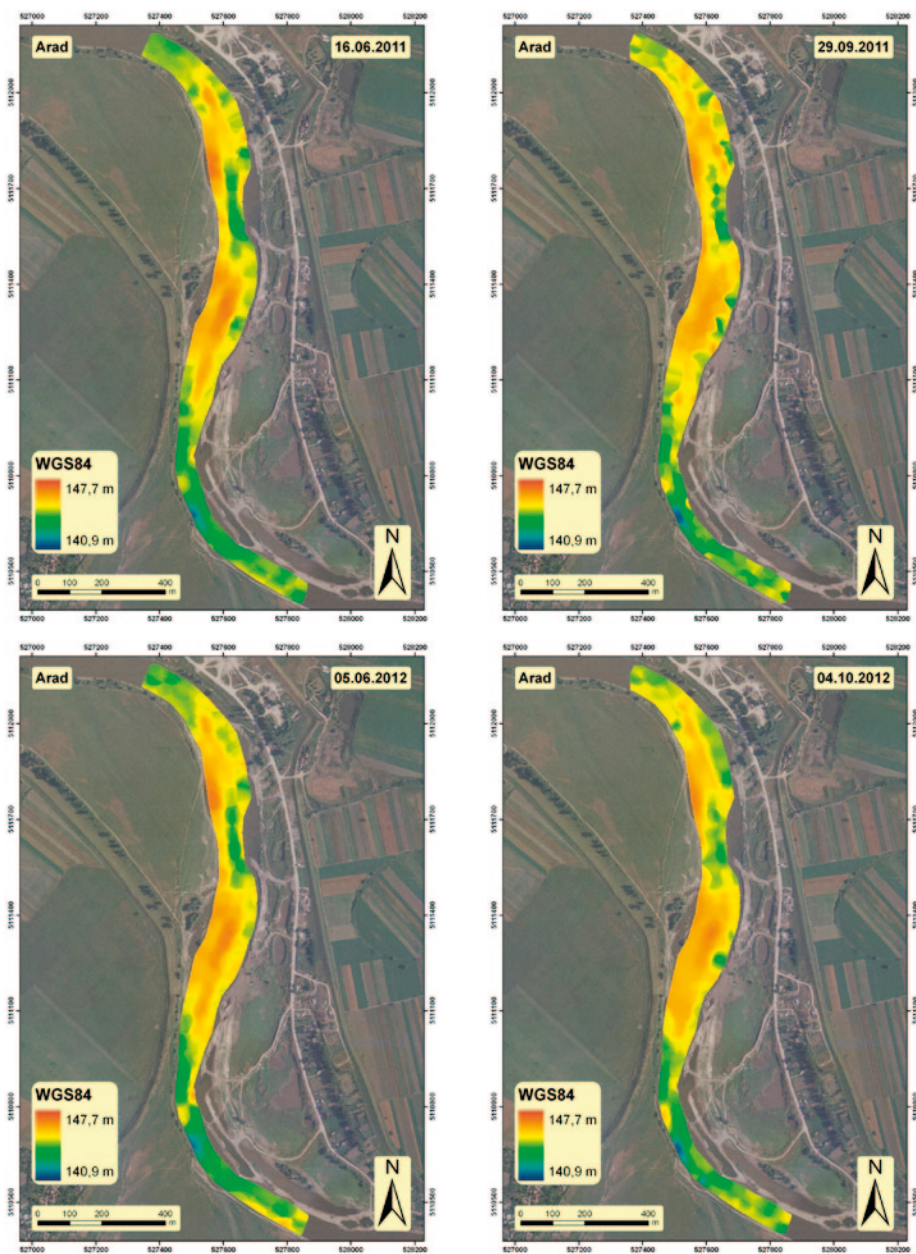
Tabelul 3: Dinamica transportului de sedimente la nivelul patului albiei în cazul sitului Lipova cu date normalizate la 1 km de albie a râului.

Table 3: The changes in the quantity of bed load (sediment household) on the Lipova section of the Maros/Mureş. Data are normalised to 1 river kilometre.

<i>időszak periodă period</i>	<i>felhalmozódás acumulare accumulation (m³)</i>	<i>elhordódás eroziune erosion (m³)</i>	<i>nettó változás schimbare netă net change (m³)</i>	<i>abszolút változás schimbare absolută absolute change (m³)</i>
06.2011. – 09.2011.	4 900	14 100	-9 200	19 000
09.2011. – 06.2012.	15 800	2 600	13 200	18 400
06.2012. – 10.2012.	5 300	8 300	-3 000	13 600

Aradnál, a legintenzívebb homokkitermelés zónájától folyásirányban lefelé, valamivel nagyobb változásokat tapasztaltunk. A közel 20 cm/km-es esés következtében ezen a szakaszon a folyó energiája még aránylag nagy. A mederfenék főként agyaggal cementált kavicsból épül föl. A laterális és a vertikális erózió jegyei szembetűnők. Ugyanakkor a vizsgálat két éve alatt jelentős bevágódást nem, sőt inkább nettó üledék-felhalmozódást tapasztaltunk (4. táblázat), ami a hátrahagyott kitermelési gödrök folyamatos feliszapolódásának köszönhető (16. ábra). A felmérések között tapasztalt abszolút eltérések nagyobbak voltak, mint Lippánál, és elérték a 30 000 m³ értéket folyamkilométerenként. Nagyobb hordalék pulzust ezen a mintaterületen sem észleltünk (16. ábra), összességében nem mutatkoztak jelentős változások, bár az áthalmozott fenékhordalék mennyisége nagyobbra tehető, mint Lippánál. Ennek egyik lehetséges oka, hogy a bányászat során megbontott partok eróziójával a folyó többelhordalékot termel.

La Arad, în aval de sectorul din care se exploatează intensive, au fost observate schimbări mult mai mari. În condițiile unei pante medii de 20 cm/km energia râului rămâne ridicată pe toată această porțiune. Patul albiei este constituit în principal din pietrișuri și argile consolidate, iar elementele de eroziune sunt identificabile atât în plan vertical cât și lateral. Oricum, pe durata celor doi ani de observații nu a fost detectată vreo incizie semnificativă (Tabelul 4), iar acumularea netă s-a datorat în principal unei colmatări continue a balastierelor din albie (Fig. 16). Schimbările absolute au fost mai mari decât în cazul Lipovei atingând 30 000 m³/km de râu. Nu au fost identificate modificări în ceea ce privește sistemul sedimentelor din patul albiei (Fig. 16). În general situl nu a cunoscut schimbări semnificative, dar cu toate acestea cantitatea de sedimente transportate la nivelul patului albiei a fost estimată ca fiind mai ridicată decât în amonte, lângă Lipova. Unul din motive poate fi furnizarea unei cantități superioare de sedimente provenite din erodarea malurilor afectate de exploatarea din albie.



16. ábra: Mederfejlődés az Arad melletti felmérési területen: változások elsősorban a hátrahagyott kavicskitermelő-gödrökhöz kapcsolódóan figyelhetők meg.

Fig. 16: Schimbările canalului de albie minoră la situl de măsurare Arad, cu evidențierea modificărilor rezultate, în principal, de la extracția nisipurilor.

Fig. 16: Channel development at the Arad measurement site, note that changes are mainly related to pools resulted by sediment extraction.

4. táblázat: A görgetett hordalék mennyiségének változása (hordalékháztartás) a Maros aradi szakaszán. Az értékek 1 folyamkilométerre vonatkoznak.

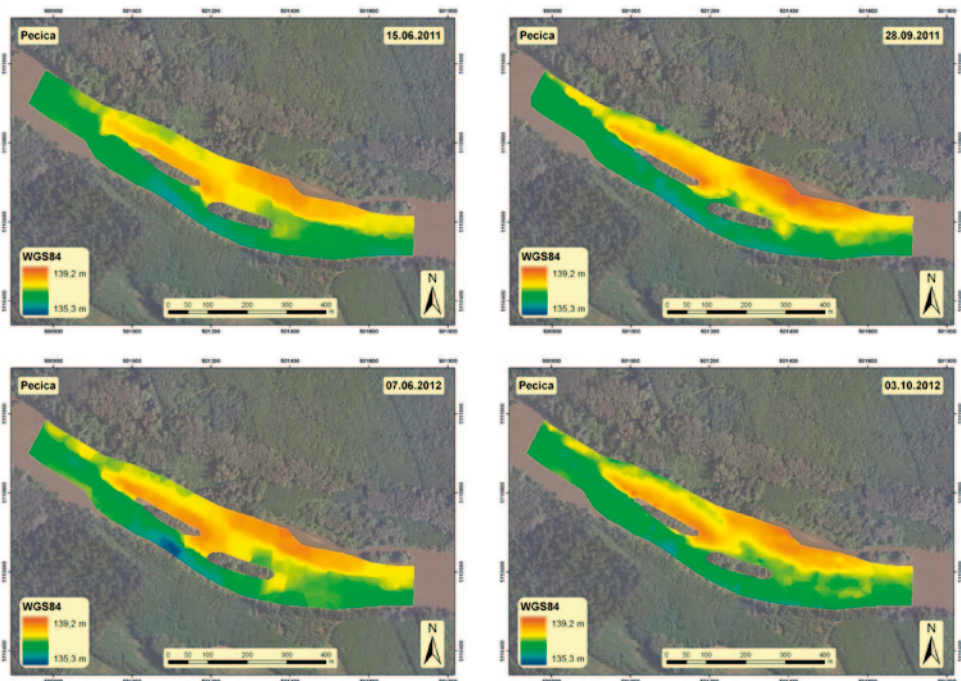
Tabelul 4: Dinamica transportului de sedimente la nivelul patului albiei în cazul sitului Arad, cu date normalizate la 1 km de albie a râului.

Table 4: The changes in the quantity of bed load (sediment household) on the Arad section of the Maros/Mureş. Data are normalised to 1 river kilometre.

<i>időszak periodă period</i>	<i>felhalmozódás acumulare accumulation (m³)</i>	<i>elhordódás eroziune erosion (m³)</i>	<i>nettó változás schimbare netă net change (m³)</i>	<i>abszolút változás schimbare absolută absolute change (m³)</i>
06.2011. – 09.2011.	19 800	8 900	10 900	28 700
09.2011. – 06.2012.	13 100	16 000	-2 900	29 100
06.2012. – 10.2012.	15 000	10 400	46 00	25 400

A Pécska melletti mérési területen a folyómeder dinamikája hasonló volt, habár a csökkenő vízfelszín esés (10 cm/km) miatt a Maros energiája itt kisebb. A mederfenék ugyanakkor közepes és durva szemcseméretű homokból áll, amit a folyó könnyebben tud szállítani és áthalmozni. A mérés ideje alatt a zátonyok elhelyezkedése és mérete nem változott, mederváltozást elsősorban a sodorvonalban észleltünk (17. ábra). A hordalék-egyenlegek alapján kismértékű, hibahatárhoz közeli nagyságú akkumuláció mutatható ki (5. táblázat). A mérések közötti abszolút változások valamivel kisebbek voltak, mint Aradnál: nagyjából 25 000 m³ áthalmozódást mértünk kilométerenként (5. táblázat). A Pécskai szakaszon így közepes mederdinamikát és hordalékszállítást tapasztaltunk.

În cazul sitului Pecica modificările și dinamica patului albiei au fost similare, deși în urma scăderii pantei (10 cm/km) energia râului a scăzut. Patul albiei este compus din nisip mediu și grosier transportat și modelat cu ușurință de Mureş. Pe durata măsurătorilor poziția și dimensiunile barelor nisipoase nu s-a modificat, morfologia fiind variabilă la nivelul talvegului (Fig. 17). Luând în considerare balanța sedimentelor, o acumulare netă nesemnificativă în marja de eroare impusă a fost detectată (Tabelul 5). Modificările absolute au fost chiar mai reduse decât în cazul Aradului, situându-se în jurul a 25 000 m³ (Tabelul 5). De-a lungul secțiunii monitorizate de la Pecica râul a „experimentat” o dinamică moderată, având o capacitate medie de transport a sedimentelor.



17. ábra: Mederfejlődés az Pécska melletti felmérési területen: változások elsősorban a sodorvonalban figyelhetők meg.

Fig. 17: Schimbărilor canalului de albie minoră la situl de măsurare Pecica, morfologia fiind variabilă la nivelul talvegului.

Fig. 17: Channel development at the Pecica measurement site, note that changes are mainly related to the thalweg

5. táblázat: A görgetett hordalék mennyiségének változása (hordalékháztartás) a Maros pécskai szakaszán. Az értékek 1 folyamkilométerre vonatkoznak.

Tabelul 5: Dinamica transportului de sedimente la nivelul patului albiei în cazul sitului Pecica cu date normalizate la 1 km de albie a râului.

Table 5: The changes in the quantity of bed load (sediment household) on the Pecica section of the Maros/Mureş. Data are normalised to 1 river kilometre.

<i>időszak periodă period</i>	<i>felhalmozódás acumulare accumulation (m³)</i>	<i>elhordódás eroziune erosion (m³)</i>	<i>nettó változás schimbare netă net change (m³)</i>	<i>abszolút változás schimbare absolută absolute change (m³)</i>
06.2011. – 09.2011.	13 700	9 000	4 700	22 700
09.2011. – 06.2012.	17 500	10 500	7 000	28 000
06.2012. – 10.2012.	7 800	15 200	-7 400	22 000

Folyásirányban tovább haladva a meder-változások sokkal jelentősebbé válnak. Negyedik mintaterületünkön, Apátfalvánál, a vízfelszín esése 15 cm/km körüli, a mederfeneket közepes és durva szemcseméretű homok építi fel. Következésképpen a folyó energiája és hordalékkelragadó-képessége nagyobb, mint Pécskánál. Mindemellett a meder dinamikája és változékonysága sokkal jelentősebb volt, mint az a többi mintaterület hordalék-háztartása alapján várható lett volna (18. ábra). Az egymást követő felmérések alapján jelentős hordalék pulzusokat azonosítottunk: homokzátónyok mozdultak el folyásirányban és új formák tűntek fel a mederben (18. ábra). Mindez azt jelenti, hogy nagy mennyiségű fenékhordalék haladt át a folyó apátfalvi szakaszán.

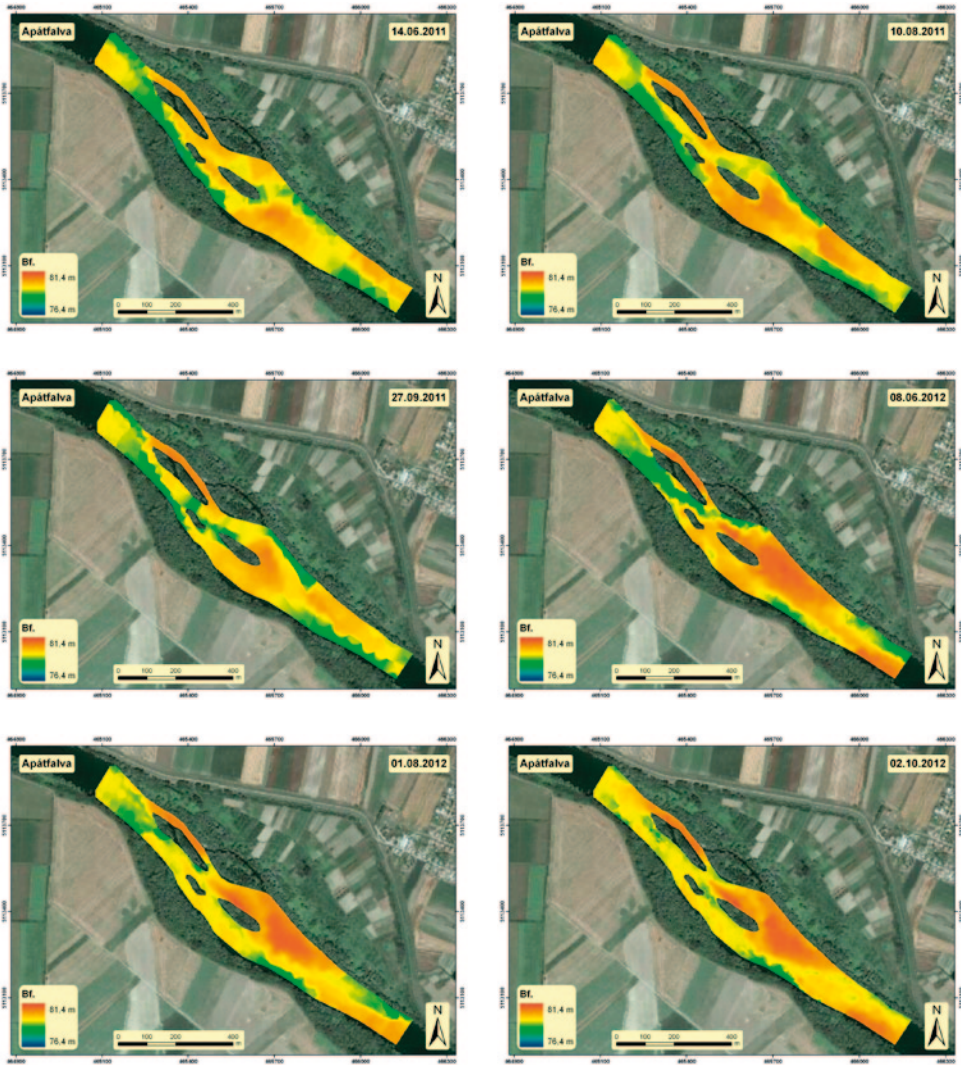
A felmérések alapján igen jelentős nettó hordalék felhalmozódást észleltünk (6. táblázat), ami főként egy, a 2012-es év nagyvízes időszakában megjelenő nagyméretű homokzátóznak volt köszönhető (18. ábra).

A változások abszolút mértéke, azaz az erózió és akkumuláció összege elérte az 50 000–70 000 m³-t folyamkilóméterenként (6. táblázat), ez mintegy kétszerese a többi mintaterületen mért értékeknek. Mindez arra utal, hogy éves szinten minimálisan 100 000–120 000 m³ homok haladhat keresztül az apátfalvi rendszeren. Természetesen a sodorvonalban, ahol a hordalékmozgás folyamatos még kisvízkor is, további jelentős mennyiségű hordalék szállítható. Felmerül a kérdés: Vajon honnan származhat az itt megmozgott hordalék?

Schimbările au o amplitudine mai mare înspre aval, în cazul sitului Apátfalva. Panta medie a râului este de 15 cm/km, iar patul albiei este compus din nisipuri medii și grosiere. În consecință, energia și capacitatea de antrenare a râului sunt superioare comparativ cu situl Pecica. Cu toate acestea dinamica canalului și variabilitatea morfologică au fost mult mai intense decât se estimase pe baza balanței sedimentelor în cazul siturilor din amonte (Fig. 18). Cu ocazia investigațiilor realizate au fost identificate mari diferențe în dinamica sedimentelor, existând o tendință de deplasare a barelor de nisip înspre aval și de apariție a unor noi astfel de structuri în albie (Fig. 18). Toate acestea presupun transportul unei cantități importante de sedimente în acest sector.

Pe baza măsurătorilor, o cantitate substanțială netă de sedimente poate fi detectată (Tabelul 6) în acest sit și se datorează dezvoltării unei plaje mari de nisip în urma apelor mari din 2012 (Fig. 18).

Schimbările absolute, s-au concretizat în suma cantității de materiale acumulate ce a atins 50 000–70 000 m³ (Tabelul 6) adică de două ori mai mult decât în cazul altor situri. S-a estimat o cantitate de 100 000–120 000 m³ de nisip transportată anual prin sistemul Apátfalva. În mod natural, la nivelul talvegului, unde dinamica sedimentelor este prezentă chiar și la ape mici, o cantitate semnificativă de sedimente pot fi transportate la nivelul patului albiei. Se naște o întrebare, și anume, care ar fi sursa acestui excedent de sedimente?



18. ábra: Mederfejlődés az Apátfalva melletti mintaterületen: jól látható a zátony formájában érkező hordalék pulzus.

Fig. 18: Schimbările canalului de albie minoră la situl de măsurare Apátfalva, cu evidențierea apariției de pulsuri sedimentare sub forma bancurilor de nisip.

Fig 18: Channel development at the Apátfalva measurement site, note the arrival of a sediment pulse in the form of a sand bar.

6. táblázat: A görgetett hordalék mennyiségének változása (hordalékháztartás) a Maros apátfalvi szakaszán. Az értékek 1 folyamkilométerre vonatkoznak.

Tabelul 6: Dinamica transportului de sedimente la nivelul patului albiei în sectorul de la Apátfalva cu date normalizate la 1 km de albie a râului.

Table 6: The changes in the quantity of bed load (sediment household) on the Apátfalva section of the Maros/Mureş. Data are normalised to 1 river kilometre.

<i>időszak periodă period</i>	<i>felhalmozódás acumulare accumulation (m³)</i>	<i>elhordódás eroziune erosion (m³)</i>	<i>nettó változás schimbare netă net change (m³)</i>	<i>abszolút változás schimbare absolută absolute change (m³)</i>
06.2011. – 09.2011.	27 300	29 300	-2 000	56 600
09.2011. – 06.2012.	54 900	17 900	37 000	72 800
06.2012. – 10.2012.	27 200	19 800	7 400	46 000

Láthattuk, hogy a síkságra kilépve a Maros hordalékháztartása egyensúlyban van: átlagos árhullámok és kisvizek idején mérsékelt mennyiségű anyag mozoghat a mederben. A nagymérvű homokbányászat miatt az Ópálos–Mondorlak szakaszon a folyó jelentősen túlmélyült mederben halad tovább, ahol a felsőbb szakaszokról érkező görgetett hordalék jelentős része csapdázódik. A mozgott hordalék mennyisége Aradnál és Pécskánál kis mértékben, Apátfalvánál viszont ugrásszerűen növekszik. Utóbbi csak úgy magyarázható, ha a Pécska–Apátfalva szakaszon a hordalékától megszabadított folyó jelentős mennyiségű további hordalékot termel. Ebben a tekintetben a Szemlak környékén elhelyezkedő, aktívan fejlődő kanyarulatoknak kulcsszerepe lehet (3. ábra), hiszen itt a partok eróziójával jelentős mennyiségű anyag kerülhet a mederbe. A fentiek alapján nyilvánvaló, hogy a folyó fejlődését nagyban befolyásolja az intenzív homokkitermelés, mely egyes szakaszokon erózióhoz, máshol ennek következtében hordalék-felhalmozódáshoz vezet.

După cum s-a arătat anterior la intrarea Mureşului în câmpie cantitatea de sedimente transportate la nivelul patului albiei este moderată la ape medii și mici. Extragerea unei cantități mari de sedimente în secțiunea Păuliș–Mândru-loc determină formarea artificială a unor cavități de mari dimensiuni în patul albiei unde sunt captate sedimentele transportate de râu. Dacă la Arad și Pecica nu se înregistrează schimbări notabile, la Apátfalva o creștere dramatică în cantitatea de sedimente transportate poate fi detectată. Acest fenomen poate fi explicat prin faptul că râul eliberat din albia sa artificială furnizează o cantitate mai mare de sedimente în sectorul Pecica–Apátfalva. În acest sens meandrele active din amonte de Semlac pot avea un rol cheie (Fig. 3), deoarece eroziunea malurilor generează o cantitate ridicată de sedimente, care ajung în albie. Pe baza elementelor prezentate este evident că evoluția actuală a râului este influențată de activitatea de exploatare intensă, de eroziunea semnificativă din anumite sectoare și de acumularea cu precădere în altele.

Kérdés, hogy az alsóbb szakaszok hordalékellátása a jövőben hogyan változhat? A hordalékmenyiség esetleges csökkenésének kimutatásához a vizsgálatok következetes folytatására van szükség. Mindamellet Apátfalva esetében az itt kapott eredményeket össze lehet hasonlítani korábbi méréseinkkel (Kiss és Sipos 2007), mivel 2003 és 2005 között ezt a szakaszt már vizsgáltuk, ráadásul ugyanazon keresztzelvények mentén. Az azonos vízszintre normalizált akkori és mostani átlagmélységek alapján megállapítható, hogy a 2011–2012-es időszakban az értékek általában nagyobbak voltak, azaz mintha mélyülne a meder habár esetenként egy-egy nagyobb zátony kialakulásával kisebb értékek is jelentkeztek (7. táblázat). Összességében hosszabb távon azért Apátfalvánál is kimutatható a hordalék-utánpótlás csökkenő tendenciája, ami erózióhoz és fokozatos bevágódáshoz vezethet.

Este firesc, aşadar, să ne punem întrebarea cum se va modifica dinamica sedimentelor din albie în viitor? Pentru a determina tendința de scădere sunt necesare investigații suplimentare. În acest sens putem compara rezultatele actuale obținute la Apátfalva cu măsurătorile noastre precedente (Kiss and Sipos 2007), realizate în intervalul 2003–2005 când au fost efectuate investigații similare pe aceleași secțiuni transversale. Pe baza valorilor medii anterioare și prezente normalizate am putut observa că adâncimile măsurate în 2011–2012 sunt în general mai mari - albia pare să cunoască o incizie deși trendul nu este foarte evident de vreme ce dezvoltarea unor renii de mari dimensiuni determină reducerea locală a adâncimilor (Tabelul 7). Totuși, considerăm că pe termen lung trebuie să ne așteptăm la o incizie graduală a râului la Apátfalva ca urmare a descreșterii cantității de sedimente transportate.

7. táblázat: Az Apátfalvánál felvett keresztzelvényekből számított átlagmélységek különböző időpontokban, a legnagyobb értékek kiemelésével.

Tabelul 7: Adâncimi medii măsurate în perioade diferite în profil transversal la Apátfalva, valorile cele mai mari fiind evidențiate.

Table 7: Mean depths at different dates calculated on the basis of cross-sections surveyed at Apátfalva, the greatest values are highlighted.

<i>dátum dată date</i>	<i>vízállás nivelul apei water stage (cm)</i>	<i>átlagmélység* adancimea medie mean depth (m)</i>
2003.08.12	-64	3.5
2004.05.16	60	3.3
2004.09.30	2	3.5
2005.04.09	192	2.9
2005.06.19	97	3.1
2011.06.14	29	4.2
2011.08.10	10	3.8
2011.09.27	-76	2.8
2012.06.08	122	3.6
2012.08.01	-58	3.1

Az átlagmélység minden esetben 230 cm-es mederformáló vízálláshoz viszonyítva van megadva.

Adâncimile medii sunt întotdeauna raportate la nivelul de referință de 230 cm.

Mean depth is always given with reference to the 230 cm channel forming water stage.

A Maros hordalék háztartásának monitoring jellegű vizsgálatához a projekt keretében elkezdett méréseket folytatni kell. Ez nemcsak gazdasági szempontból fontos, hanem mert a fenék hordalék szerepe döntő fontosságú a folyó morfológiai stabilitásának és a természeti értékeinek megőrzésében. Éppen ezért a jövőben is rendszeresen felmérjük a Lippa, Arad, Pécska, és Apátfalva mellett kijelölt mintaterületeket, immár azonban a projekt keretében beszerzett szonár segítségével.

A fenti monitoring tevékenység segítségével csak a hosszabb távú változások és tendenciák mutathatók ki, a rövid távú hordalékszállítás vizsgálatát gyakoribb méréseket igényel. Ezek segítségével a jövőben meghatározhatóvá válhat dűnék formájában szállított görgetett hordalék mennyisége, ami kiemelkedően fontos lenne a hordalék-kitermelés szabályozása és a fenntartható vízgazdálkodás szempontjából.

A kutatás során ezért megkíséreltünk kidolgozni egy olyan eljárást, ami lehetővé teszi a nagy felbontású, pontos és gyors felmérést. A tesztek a makói vízmérce kábeldaros kereszt-szelvényében végeztük el georadaros és akusztikus műszer segítségével. A felmérések egy kisebb árhullám (vízszint: 120 cm), valamint kisvíz (vízszint: -70 cm) idején történtek. Az árhullám idején a felvételezést georadarral végeztük és 30 percenként átlagosan 6 m² változást tapasztaltunk a kereszt-szelvény területében, miközben a 10–20 cm magas dűnék mozgását jól lehetett azonosítani (19. ábra). Kisvíznél nem csak a kereszt-szelvény változását, hanem mederfenék „mozgásának” sebességét is mértük az akusztikus mérőeszköz segítségével. Kisvíznél 30 percenként átlagosan 0,6 m²

Műsorok kezdődtek az alkalmatosságokkal a területen. A mérések folytatása érdekében a projekt keretében megkezdett méréseket folytatni kell. Ez nemcsak gazdasági szempontból fontos, hanem mert a fenék hordalék szerepe döntő fontosságú a folyó morfológiai stabilitásának és a természeti értékeinek megőrzésében. Éppen ezért a jövőben is rendszeresen felmérjük a Lippa, Arad, Pécska, és Apátfalva mellett kijelölt mintaterületeket, immár azonban a projekt keretében beszerzett szonár segítségével.

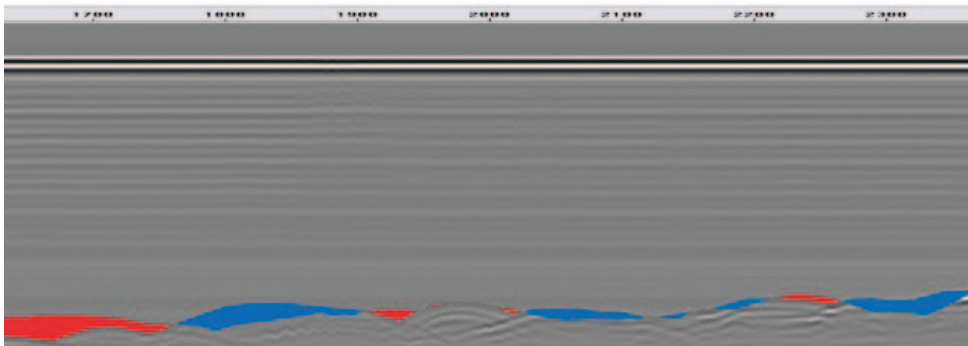
Continuarea monitorizării descrise mai sus va permite detectarea tendințelor pe termen lung, dar pentru o mai bună cunoaștere a variabilităților pe termen scurt sunt necesare măsurători mult mai frecvente. În final se vor putea calcula cantitățile de sedimente transportate la nivelul patului albiei prin intermediul dunelor. Acest lucru este crucial în vederea controlării exploatărilor de sedimente din albie și în vederea realizării unui management durabil al resurselor râului.

De aceea, o parte a acestui studiu își propune să elaboreze o procedură de investigație cu o rezoluție și o eficiență mai mare. Măsurătorile au fost realizate la Makó utilizând un georadar și un sonar de-a lungul unui cablu fix atârnat la ape mari (nivelul apei având 120 cm) cât și la ape mici (nivelul apei având -70 cm). La ape mari datele obținute cu ajutorul georadurului au detectat o medie a dinamicii de 6 m² în 30 de minute în profil transversal, deplasarea unor dune de 10–20 cm fiind identificate cu precizie (Fig. 19). La ape mici s-au măsurat nu doar modificările în profil transversal, dar și viteza dinamică la nivelul patului de albie cu ajutorul unui sistem acustic. Schimbarea calculată

változást észleltünk a keresztshelvény területében, míg a sodorvonalban 10 percként 0,2 m²-t. A mederfenék mozgásának sebessége nagyjából 1,2 cm/s volt. Ezek alapján, egy napra 20–25 m³-es hordalékhozamot becsültünk. Az eredmények biztatóak és reális értékeket mutatnak, de az eljárást mindenképp kalibrálni kell gyománys hordalékfogókkal is.

Az már most jól látszik, hogy a hordalékhozamok a vízzinttel és a folyó energiájával összefüggésben jelentősen ingadozhatnak. Ezért a jövőben a georadaros és az akusztikus eszközöket kombinálva napi méréseket tervezünk végrehajtani. A tesztek remélhetőleg hozzásegítenek bennünket a későbbiekben a görgetett hordalék mennyiségének gyors és hatékony méréséhez.

la ape mici în lungul profilului transversal a fost de 0,6 m² în 30 de minute, în timp ce în talveg a fost estimată o schimbare de 0,2 m² în 10 minute. Velocitatea dinamicii la nivelul albiei a fost în jur de 1,2 cm/s. Pe baza acestora am estimat un debit solid de 20–25 m³ pe zi. Rezultatele sunt foarte promițătoare și indică valori reale, deși tehnica urmează să fie calibrată la metoda clasică de captare a sedimentelor. În plus, debitele solide arată în mod cert o mare variabilitate determinată de fluctuațiile de nivel și de energie ale râului. De aceea, în viitor sunt planificate măsurători zilnice la diferite nivele ale râului combinând tehnicile GPR și cele acustice. Aceste teste vor permite găsirea unei modalități rapide și eficiente de monitorizare a debitelor solide ale Mureșului.



19. ábra: A makói szelvényben egy kisebb árhullám során felvett két egymást követő georadar-szelvény összehasonlítása. A kék szín eróziót, a piros akkumulációt jelent. A két mérés között 30 perc telt el.

Fig. 19: Rezultatul comparării a două profile georadar transversale realizate la Makó în perioada unei viituri de mică amploare. Culoarea albastră marchează eroziunea, iar cea roșie acumularea. 30 de minute au trecut între cele două măsurători.

Fig. 19: The result of the comparison of two georadar profiles taken at the Makó cross-section during a small flood wave. Blue colour marks erosion, red marks accumulation. 30 minutes passed between the two measurements.

Következtetések

Az összefoglaló kötet harmadik tanulmányában a 19. századi nagyszabású szabályozási munkálatok óta bekövetkezett változásokat vizsgáltuk. Terepi mérések segítségével a folyómeder rövid távú fejlődését és a görgetett hordalék egyenlegének mennyiségi változását is igyekeztünk feltárni a folyó eltérő szakaszain. Munkánk során az alábbi következtetésekre jutottunk:

- A folyó síksági szakaszának futását a beavatkozásokat megelőzően nagyban befolyásolták a tektonikus folyamatok. A legaktívabban fejlődő szakaszok ott jelentek meg, ahol felszín esése jelentősen változott: a síkságra történő kilépésnél, a Battonyai-hát környékén, a hordalékkúp peremén, illetve a torkolati szakaszon.
- A szabályozásokat, illetve a kanyarulat átvágásokat általában folyó bevágódása és kiszélesedése követte. A beavatkozásokra a Maros azonban nem reagált egységesen.
- A korábban is aktív, tektonikusan befolyásolt szakaszokon a folyó hossza új kanyarulatok kialakulásának köszönhetően jelentősen nőtt. Ezen esetekben a folyó úgymond robosztus választ adott a szabályozásokra és viszonylag gyorsan visszatért eredeti morfológiájához.
- A Csanád–Apátfalva szakaszon ugyanakkor a Maros érzékenyebben reagált a beavatkozásokra, és új típusú, eltérő medermintázattal jellemezhető egyensúlyi állapotot vett fel. Ez a szakasz mindemellett jól jelzi a folyón bekövetkező hidrológiai és morfológiai változásokat, mivel a szabályozások óta gyakorlatilag érintetlen.
- A mederben kialakuló szigetek fejlődése ciklikus folyamat, melyet a folyó vízjárása és a növényzet stabilizáló szerepe határoz meg.
- Az elmúlt 30-50 évben a szigetek száma, valamint a meder átlagos szélessége folyamatosan csökkent a síksági szakaszon. Ez lassú de folyamatos visszatérést jelez az eredeti medermorfológia irányába, ami hosszabb távon intenzívebbé váló eróziót eredményezhet a kezeletlen szakaszokon.
- Az utóbbi 2 évben elvégzett monitoring alapján az intenzív kitermelés által érintett szakaszok felett a meder mérsékelten változott, hordalék pulzusokat nem lehetett kimutatni.
- A bányászati tevékenység alatti szakaszokon a hordalékegyenleg nagyobb ingadozást mutatott, mivel a beavatkozások környékén fellépő erózió valamelyest pótolja a görgetett hordalék mennyiségét.
- A legnagyobb változásokat a határszakaszon figyeltük meg, ahol jelentős hordalékpulzusokat azonosítottunk. Ez nagyobb görgetett-hordalékhozamra utal, amit szintén a felsőbb szakaszokon bekövetkező erózióval lehet magyarázni.
- Az Apátfalvánál megfigyelt hosszabb távú változások alapján azonban megállapítható, hogy az utóbbi néhány évben valamelyest csökkent a hordalék-utánpótlás.

A feltárt folyamatok jól jelzik az emberi beavatkozások közvetett hatásait, valamint rámutatnak arra, hogy a jövőben a mederfejlődés intenzívebbé válhat. A fentiekben bemutatott vizsgálatok és eredmények megfelelő kiindulási pontot szolgáltatnak a folyó alföldi szakaszán bekövetkező változások nyomon követéséhez. A kutatás eredményeként három monitoring tevékenység alapjait fektettük le, melyekkel a folyó horizontális változásait, hordalékegyenlegét és a hordalékszállítását lehet majd vizsgálni. A bemutatott mérések és eredmények nagyban hozzájárulhatnak a folyó fenntartható kezeléséhez. Emellett reméljük, hogy a két szomszédos ország együttes erőfeszítésével a jövőben várható környezeti változások ellenére is megőrizhető, illetve fejleszthető lesz a Maros hidrológiai, ökológiai és gazdasági potenciálja.

Concluzii

În acest capitol au fost prezentate rezultatele analizei întreprinse în vederea deslușirii evoluției recente a Mureșului, în perioada care a urmat lucrărilor de regularizare din secolul 19. Cu ajutorul diferitelor tehnici de măsurare utilizate s-a încercat investigarea modificărilor pe termen scurt ale dinamicii patului albiei și bugestului de sedimente în diferite secțiuni. Cele mai importante concluzii sunt redată în continuare:

- Cursul Mureșului din perioada care a precedat lucrările de regularizare a fost determinat în principal de tectonica locală. Cele mai active secțiuni s-au dezvoltat în condițiile schimbării semnificative a declivității terenului, și anume: la ieșirea din defileu, în vecinătatea zonei înălțate Battonya, în zonele marginale ale conului aluvionar și în apropierea gurii de vărsare în Tisa.
- În urma lucrărilor de regularizare și scurtare a lungimii râului au fost stimulate incizia și lărgirea râului. Mureșul a reacționat diferit la schimbările suferite.
- În sectoarele active situate în vecinătatea zonei ridicate, lungimea râului a crescut considerabil prin dezvoltarea unor bucle noi. Aici râul a avut o reacție foarte promptă la constrângerile de natură antropică suferite și a revenit la morfologia inițială într-un timp scurt.
- În secțiunea Cenad–Apátfalva râul a fost mai sensibil la intervențiile realizate și o nouă stare de echilibru s-a instaurat. Acest sector reprezintă un bun indicator al schimbărilor produse în cazul proceselor morfologice și hidrologice, de vreme ce nu a fost afectat de regularizări.
- Evoluția insulelor reprezintă un proces ciclic controlat de regimul hidrologic al râului și de ritmul colonizării cu vegetație.
- În ultimii 30-50 de ani numărul insulelor și lățimea medie a râului au scăzut continuu în sectorul de câmpie. Aceasta lucru înseamnă o revenire lentă, dar constantă

la morfologia originală, prevestind în același timp o intensificare a eroziunii în sectoarele neamenajate.

- Dinamica albiei incluzând și patul acesteia în amonte de sectorul în care există o activitate intensă de exploatare a fost moderată în ultimii doi ani, interval în care a fost monitorizată, nefiind înregistrate modificări importante în acumularea sedimentelor.
- În aval de sectorul de excavare a sedimentelor din albie bugetul de sedimente la nivelul patului a prezentat variații mult mai semnificative, datorită sporirii cantității de sedimente produse de râu în urma eroziunii induse de exploatarea din amonte.
- Cele mai importante modificări au fost sesizate în sectorul de graniță, unde au fost detectate variații importante ale cantității de sedimente din albie sugerând o sporire a debitului solid transportat ca urmare a eroziunii din amonte.
- Investigațiile pe termen lung ale bugetului de sedimente la Apátfalva indică o scădere a cantității de sedimente furnizate din amonte.

Aceste modificări subliniază care sunt efectele secundare ale intervențiilor antropice asupra râurilor și posibilitatea intensificării proceselor de albie în viitor. Oricum, investigațiile și rezultatele surprinse reprezintă un prim pas realizat pentru evaluarea schimbărilor în lungul râului. Au fost stabilite cu această ocazie trei activități de monitorizare a dezvoltării în plan orizontal, a acumulării sedimentelor și a dinamicii pe termen scurt a livrării sedimentelor. Rezultatele acestor măsurători pot contribui decisiv la realizarea unui management durabil al Mureșului. Sperăm, astfel că în ciuda modificărilor ambientale preconizate pentru viitor, resursele hidrologice, ecologice și economice ale râului vor putea fi păstrate de eforturile comune ale celor două țări vecine.

Irodalom / Bibliografie

Fiala K., Sipos Gy., Kiss T., Lázár M. 2007. Morfológiai változások és a vízvezető-képesség alakulása a Tisza algyői és a Maros makói szelvényében a 2000. évi árvíz kapcsán. *Hidrológiai Közlöny*. 87/5: 37–46.

Goda L., Krikovszky S. 2002. Mozgóhajós vízhozammérés ADCP mérőberendezéssel. *Vízügyi közlemények* 84/4: 527–550.

Hooke J.M. 1995. River channel adjustment to meander cutoffs on the River Bollin and River Dane, northwest England. *Geomorphology*. 14: 235–253.

Kiss T., Fiala K., Sipos Gy. 2008. A terepi hordalékhozam-mérő eszközök és módszerek I. (Hagyományos eszközök és a hazai gyakorlat). *Hidrológiai közlöny* 88/4: 58–62.

Kiss T., Sipos Gy. 2007. Braid-scale channel geometry changes in a sand-bedded river: Significance of low stages. *Geomorphology* 84/3-4: 209–221.

Kiss T., Sipos Gy. 2009. Dendrológia alkalmazása a geomorfológiai kutatások során: a szigetvándorlás vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. *Földrajzi Közlemények* 133/1: 13–21.

Lacay I. 1975. A Maros vízgyűjtője és vízrendszere. In *Vízrajzi Atlasz Sorozat* 19 Maros. VITUKI, Budapest, 4–7.

Lacay I. 1982. A folyószabályozás tervezésének morfológiai alapjai. *Vízügyi Közlemények* 1982: 235–254.

Lancaster S.T., Bras R.L. 2002. A simple model of river meandering and its

comparison to natural channel. *Hydrological Processes* 16: 1–26.

Lóczy D., Kertész Á., Lóki J., Kiss T., Rózsa P., Sipos Gy., Sütő L., Szabó J., Veress M. 2012. Recent Landform evolution in Hungary. In *Recent Landform Evolution the Carpatho-Balkan-Dinaric Region*, Lóczy D, Stankoviansky M, Kotarba M. (eds). Springer Dordrecht, Heidelberg-London-New York, pp. 205–247.

Sipos Gy. 2006. A meder dinamikájának vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. PhD dolgozat, p. 138.

Sipos Gy., Fiala K., Kiss T. 2008. Changes of cross-sectionial morphology and channel capacity during an extreme flood event, Lower Tisza and Maros Rivers, Hungary. *Journal of Environmental Geography* 1/1-2: 41–51.

Sipos Gy., Kiss T. 2003. Szigetképződés és fejlődés a Maros határszakaszán. *Vízügyi Közlemények* 85/4: 225–238.

Sipos Gy., Kiss T. 2004. Evaluation of morphological stability on the lower reaches of River Maros, Hungary. *Geomorphologia Slovaca* 4/1: 52–62.

Sipos Gy., Kiss T., Fiala K. 2007. Morphological alterations due to channelization along the Lower Tisza and Maros Rivers. *Geographica Fisica e Dinamica Quaternaria* 30: 239–247.

Török I. (ed.) 1977. A Maros folyó 0–51,33 fkm közötti szakaszának szabályozási terve. Alsótiszavidéki Vízügyi Igazgatóság, Szeged.