

# Geomorfološka obilježja korita rijeke Drave i njenog poloja u širem području naselja Križnica

**Andrija Bognar**

Razglobiti će se geomorfološke osobine i razvoj korita Drave (108-115 km od ušća) i njenog poloja. Naglasak u radu će biti na morfogenezi poloja i korita tijekom posljednja dva stoljeća, kada su izvršeni najznačajniji regulacijski i melioracijski radovi. Uz mlade tektonske pokrete, regulacijski i melioracijski radovi su imali velikog utjecaja na izmjenu intenziteta erozijskih i akumulacijskih procesa i na oblikovanje uzdužnog i poprečnog profila vodotoka, te reljefa poloja.

**Ključne riječi:** meandriranje, regulacija rijeka, poloj, Drava, geomorfologija

## **Geomorphologic Characteristics of the Drava River Bed and its Floodplain in Wider Area of the Settlement Križnica**

Geomorphologic characteristics and development of the Drava River bed (108-115 km from the mouth) and its floodplain will be analyzed. The emphasis will be put on the river bed and floodplain morphogenesis in the last two centuries, when the most significant river regulation and land-improvement activities were carried out. Together with younger tectonic movements, the mentioned activities had a great impact on the erosion and accumulation processes intensity change, as well as on formation of the river's transversal profile and floodplain relief.

**Key words:** meandering, river regulation, floodplain, Drava, geomorphology

## UVODNE NAPOMENE

Konkretno prostor istraživanja ima površinu od 8,46 km<sup>2</sup> ili 846 ha i nalazi se u neposredno uz državnu granicu s Mađarskom. U administrativno – teritorijalnom pogledu pripada općini Pitomača odnosno Virovitičko – Podravskoj županiji. U geomorfološkom smislu u cijelosti je dio naplavne ravni rijeke Drave. Predstavlja specifičan krajolik s dominacijom aluvijalnih i močvarno - glejnih tala s hidrofilnom vegetacijom potamogenih vrsta na vodenim površinama mrtvaja, šašom, trstikom i šumom hrasta lužnjaka, uključivši topolove, vrbove i johove i druge poluvlažne i vlažne šume i šikare kontinentalnih krajeva (Enciklopedija Jugoslavije, knjiga 5, 1988). Iako je područje pretežito dio višeg nivoa naplavne ravni (poloja) Drave zbog periodičnog plavljenja veći dio površina na fluvijalnim gredama i sukcesijama meandarskih sprudova između aktivnih krivaja rijeke, ali i mrtvaja, iskorišten je kao oranični prostor. Navedena struktura krajolika s naseljem Križnica ruralnog obilježja daje mu osobinu značajnog krajolika, čija budućnost u okviru održivog razvoja leži u kombinaciji poljodjelskog i turističkog iskorištavanja s tim da se predlaže njegova zaštita u kategoriji parka prirode ili nacionalnog parka (Dravski nacionalni park).

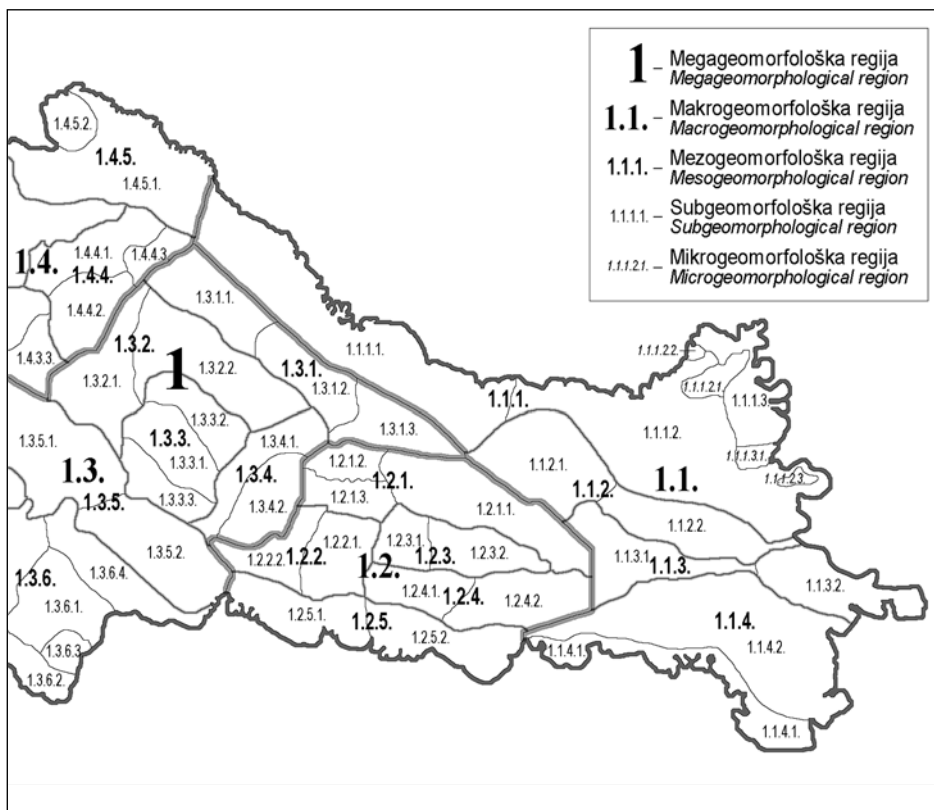
## 1. GEOMORFOLOŠKI POLOŽAJ

Istraživano područje dio je sjevernog i sjeveroistočnog dijela megageomorfološke regije Panonskog bazena. Morfostrukturne, morfogenetske, litološke i orografske reljefne datosti poslužile su kao temelj izdvajanja mezogeomorfološke cjeline nizine drave s nizinom Dunava u okviru makrogeomorfološke jedinice Istočno hrvatske ravnice s Gornjom Podravinom. Mezogeomorfološke regije su pritom shvaćene kao temeljne reljefne jedinice velikih morfoloških cjelina. Izdvojene su na osnovu njihovih hidro–orografskih, morfo–evolucijskih i geoloških (sastav, građa i tektonika) datosti. S obzirom da se radi o nizinskoj regionalnoj jedinici u taksonomskom smislu sastavljena je od gotovo homogenih sub- i mikrogeomorfoloških regija te morfofacijesnih grupa. Subgeomorfološke reljefne cjeline geomorfološki gledano su istovrsnog tipa, koje su morfoevolucijski (razvojno gledano) međusobno povezane no u odnosu na svoju okolicu sastavljene su od mikrogeomorfoloških reljefnih jedinica koje su u manjoj ili većoj mjeri neovisnih značajki u strukturnom i orografskom pogledu.

Istraživano područje Križnice dio je subgeomorfološke regije Gornjodravске nizine (Sl. 1.), a unutar nje mikrogeomorfološkoj cjelini Pitomačke podravine. Mikro cjelina je sastavljena od morfogenetski jedinstvenih ali istodobno orografskih i litološki nešto heterogenijih morfofacijesnih grupa (Bognar, 2001.). Iste predstavljaju relativno male ali homogene prostorne jedinice reljefa. Uniforman im je geološki sastav i građa, imaju također jedinstveni morfogenetski razvoj, nastanak i orografske datosti. Unutar mikroregionalne cjeline Pitomačke podravine to su morfofacijesna grupa Dravske terasne nizine s eolskim pjescima i morfofacijesna grupa poloja (naplavne ravni) Drave. Svaka morfofacijesna grupa sastoji se od niza morfofacijesa koji čine temeljne fiziografske jedinice prirodnog prostora – reljefa. To su pojedine mrtvaje, fluvijalne grede, sukcesije aktivnih ili paleomeandarskih (mrtvaje) sprudova s konveksne strane lukova krivina zatim recentno korito Drave s rukavcima, sprudovima i adama. Za terasnu nizinu Drave karakteristični facijesi su: prva

riječna Dravska terasa, druga riječna Dravska terasa, pojasi i fragmenti eolskih uzvišenja dina – garmada, pješćanih pokrova i deflacijskih udubljenja.

Bitna je razlika između morfo i ekološkog facijesa kao temeljnih homogenih jedinica prirodnog prostora – reljefa u slučaju prvospomenutog, dok u slučaju drugospomenutog (ekološkog facijesa) facijes predstavlja pak homogenu jedinicu prostora čiji je nastanak rezultat međuovisnosti utjecaja svih regionalnih čimbenika (anorganskih + biogenih + antropogenih). Svaki od morfofacijesa, npr. mrtvaja, sastoji se od više ekofacijesa ovisno o stupnju njene ovlaženosti. Ekološke različitosti mogu biti npr. u slučaju naplavne ravni ovisno o njezinoj dreniranosti ili pak plavnosti.



Sl. 1. Geomorfološka regionalizacija RH (Bognar, 2001)

Fig. 1 Geomorphologic regionalization of the Republic of Croatia (Bognar, 2001)

## 2. OPĆE MORFOLOŠKE OSOBINE

Područje dijela morfofacijesne grupe poloja Drave u okviru granica prostora naselja Križnice koji predstavlja zaštićeni krajolik u reljefnom smislu je gotovo idealno zaravnjena površina čija **reljefna energija** (vertikalna raščlanjenost na jediničnu površinu – 1 km<sup>2</sup>) ne prelazi vrijednosti 0 – 5 m/km<sup>2</sup>. Na preko 90% područja ona je čak i manja, negdje oko

0 – 2 m/km<sup>2</sup>, što je i razumljivo obzirom da se radi o fluvijalnoj akumulacijskoj nizini. Izuzetak tome čini samo korito Drave i njene mrtvaje, reljefne energije 3 – 7 m/km<sup>2</sup>. U skladu s tim su i **nagibi**: dominiraju oni od 0–2° i jedino obale rijeke, rukavaca i mrtvaja su nešto izrazitije inklinacije (2 – 5° i 5 – 12°).

U morfogogenetskom pogledu izdvojiti se može korito rijeke, koje je u stalnom i dinamičkom razvoju i poloj ili naplavna ravan, u okviru kojeg se mogu izdvojiti njegov viši i niži nivo.

### 3. MORFOGENEZA POLOJA I KORITA

Analiza općih morfoloških osobina jasno je pokazala veoma diferenciranu strukturu reljefa korita i poloja Drave, i to unatoč njegovoj maloj dinamici reljefa i neznatnom nagibu terena. To indicira na složen geomorfološki razvoj poloja.

**Poloj (naplavna ravan)** je nastao akumulacijsko–erozijskim radom Drave tijekom kvartara. U skladu s mehanizmom rada njenih voda na koje je bitno utjecala i neotektonika, nastali su odgovarajući tipovi mikroreljefa. Ovisno o vremenskoj postojanosti pojedinih karakterističnih vodostaja koje prate odgovarajući akumulacijsko–erozijski procesi formiran je i viši i niži nivo poloja; viši nivo poloja odgovara srednje visokim i vrlo visokim, a niži srednje visokim vodostajima rijeke Drave. Nadmorska visina višeg nivoa poloja kreće se od oko 105 mnv na istoku do 107 – 110 mnv na zapadnom dijelu istraživanog područja. U njegovom centralnom dijelu, dakle u prostoru naselja Križnica i unutar područja omeđenog zavojima mrtvaja: Jad, Franciskov jad, Segedin, Jadica i Kišloka. Nadmorska visina prostora je najujednačenija i kreće se u vrijednostima od 108 – 109 mnv, što upućuje na minimalnu vertikalnu raščlanjenost, manju od 1m/km<sup>2</sup>. Visina nižeg nivoa poloja, koji je isključivo vezan za obalne dijelove aktivnog korita Drave i udubljenja mrtvaja u pravilu je niži za 5 – 7 m, mjestimice čak i više. Vrijednosti nadmorske visine kreću mu se negdje oko 100 – 102 mnv. Svaka od navedenih morfogogenetskih kategorija reljefa sastoji se od niza manjih morfoloških oblika čiji je nastanak i razvoj vezan za morfološku evoluciju prvospomenutih i za aktivnosti čovjeka. Misli se tu prvenstveno na fluvijalne grede, mrtvaje i sukcesije meandarskih sprudova između zavojaa meandara i mrtvaja, sprudove i ade.

*Svojstvo mahanizma voda rijeke Drave* – i njezine izmjene u vremenu i prostoru tokom holocena, na koje su bitnog utjecaja imale recentna tektonika, geološka građa i sastav, antropogene aktivnosti – imaju pri tome odlučujuću ulogu u formiranju današnjih reljefnih osobina poloja.<sup>1</sup>

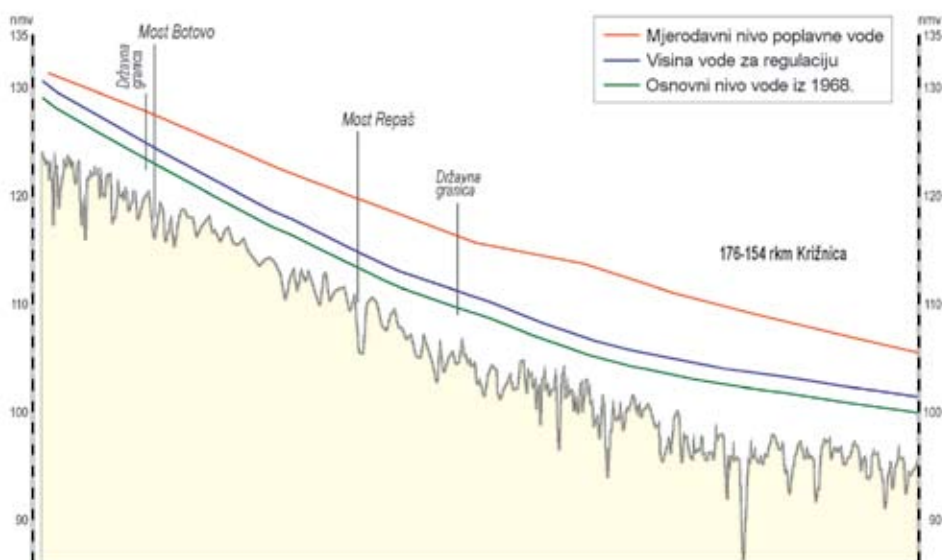
Pronos lebdećeg nanosa na Dravi mjeri se kod Varaždina, Botova i D. Miholjca, i to tek od kraja 60-ih godina na ovamo. Osnovno je obilježje kretanja suspendiranog nanosa u rijeci da se on svojom količinom višestruko povećava nizvodno. Istovremeno s povećanjem količine nanosa zapaža se i prosječno smanjivanje promjera čestica vučenog nanosa. Nizvodno od Terezinog Polja (Barcs, R Madžarska) šljunci gotovo potpuno nestaju iz sastava vučenog nanosa, tako da je on nizvodno sve do ušća Drave u Dunav predstavljen uglavnom srednje do sitnozračnim pijescima.<sup>2</sup>

Pronos suspendiranog nanosa tijekom godine u skladu je s kretanjem vodostaja i proticaja rijeke. Najveći je za vrijeme maksimalnih vodostaja tijekom svibnja, lipnja i

srpnja, a najmanji zimi. Odras je to blago izraženog nivalnog režima voda Drave. Treba reći da se najjača morfološka aktivnost rijeke poklapa s vremenom kada ona pronosi najveću količinu nanosa, s kojom bitno povećava svoju erozijsku moć.

### Korito<sup>3</sup>

Stvarni uzdužni profil korita Drave od 176,45 RKM pa do 154 RKM od ušća, uzimajući u obzir nadmorske visine „0“ točke vodomjera (102,17 mnv) kod ušća Kopanjek kanala (RKM 176,15 km od ušća Drave) pa do Barcsa (RKM 154,15 od ušća Drave, „0“ kota vodomjera 98,81 mnv) na duljini od 22,3 km ima pad od 336 cm ili 15,3 cm/km. Predstavlja blagu konkavnu krivulju (Hidrografski atlas rijeke Drave, 1972.). Analizom osnovnog nivoa vode iz 1968. godine (Hidrografski atlas rijeke Drave, 1972.) njen pad između „0“ kota vodomjera kod Kopanjek kanala i Barcsa iznosi 15,07 cm/km<sup>2</sup>, dakle, gotovo je identičan s padom stvarnog uzdužnog profila. Nešto je veći pad vodnog lica plavnih voda (20,2 cm/km), pa je razumljivo da se morfološko oblikovanje korita, posebno njegovog lateralnog podsjecanja veže za velike protoke i vodostaje.<sup>4</sup>



Sl. 2. Karakteristični profili rijeke Drave, talvega, osnovnog nivoa vode iz 1968 g. i mjerodavnog nivoa poplavne vode od 156 RKM pa do 180 RKM od ušća (Hidrografski atlas rijeke Drave, 2003)

Fig. 2 Characteristic profiles of the Drava River; talweg, basic water level in 1968, and competent floodwater level from 156 rkm to 180 rkm going from the river mouth (Hidrogeografski atlas rijeke Drave, 2003)

Drava, kao i svaki drugi vodotok, u oblikovanju svog uzdužnog profila ne nastoji, već je na to prisiljena utjecajem tektonskih pokreta, sastava, proticaja i nanosa. od posebne važnosti u oblikovanju suvremenog profila rijeke Drave ima suvremena tektonika. Redovno je uz rasjede, gdje je povećani pad rijeke, snažno njeno bočno pomjeranje, što dolazi do izražaja u povećanoj eroziji. Dodati treba da i veličine meandara pokazuju odgovarajuće pozitivne ekstreme u svojoj razvijenosti.

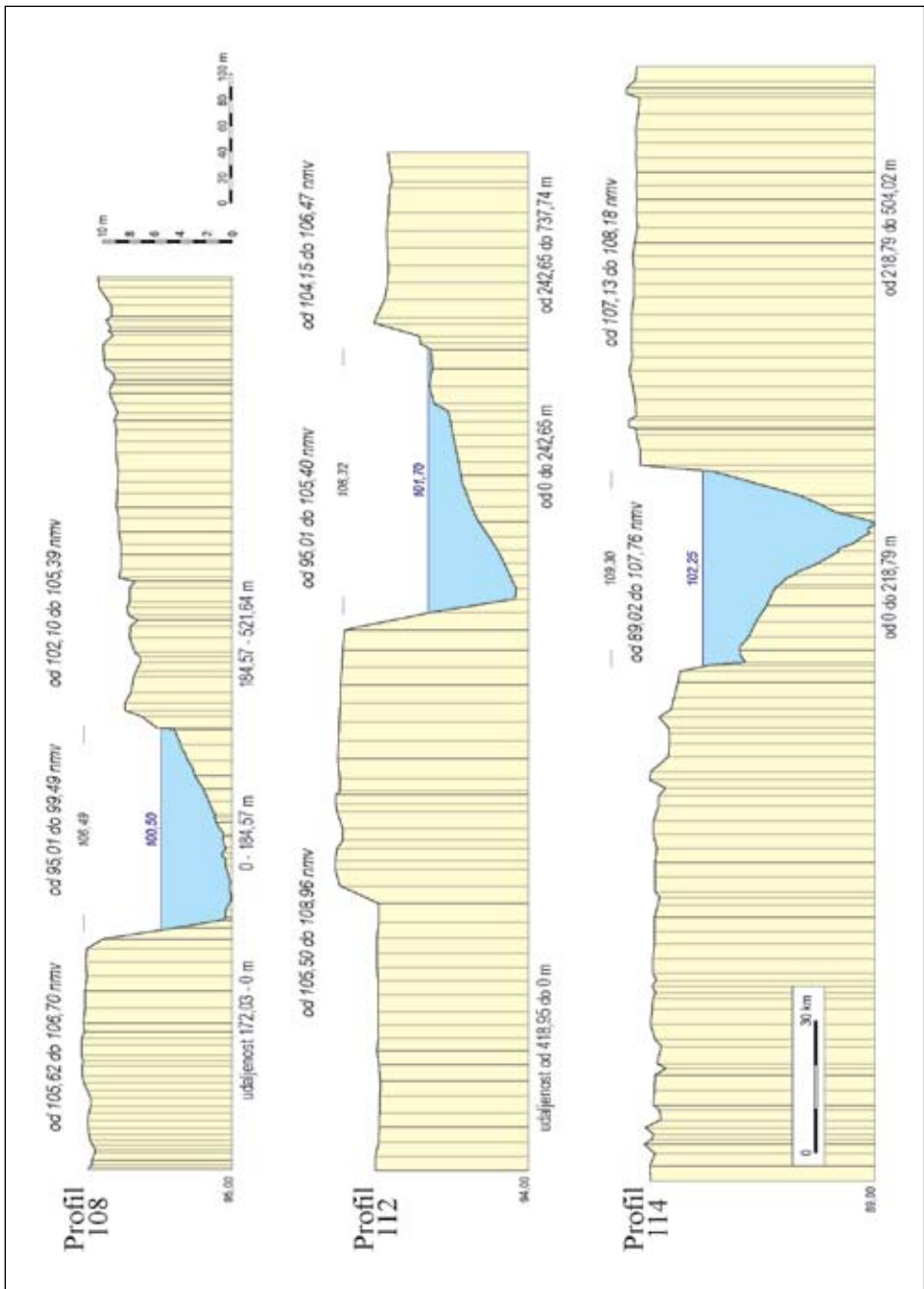
Uspoređujući pad vodnog lica na temelju podataka iz 1966/68 (Atlas Drave, 1972), utvrđene rasjedne sisteme na pojedinim dijelovima korita između evidencijskih profila i indirektno, morfološkim osobitostima korita, došlo se do zaključka da se izraziti lomovi krivulje vodnog lica u pravili mogu vezati za utvrđene rasjede S-I (rasjed uz tok potoka Rinya) i SZ-JI (Dravski rasjedni sustav). Utjecaj tektonskih pomaka i recentno su prisutni (negativnog predznaka). Tijekom razvoja, krivine postaju sve oštrije i međusobno se približavaju da bi se na kraju spojile. Kako je kod Križnice utvrđeno križanje rasjeda S-J i SZ i JI, uz desni smičući pomak to je intenzitet zbijanja meandara izraženiji (Bognar i ostali 1994). To znači da su današnji pokreti Zemljine kore na istraživanom području i danas prisutni, najčešće kao pomaci negativnog predznaka različitog intenziteta i da imaju odlučujući utjecaj na značajke mehanizma voda Drave.(Sl. 3)



Sl. 3. Temeljni rasjedi u nizini Drave. Utjecajem recentnih desnih tektonskih pomaka, svi pritoci Drave i njihova ušća pokazuju odklon prema JI i I (Prelogović i dr., 1988., Prelogović i dr., 1983., Bognar, 1980.)

Fig. 3 Main faults in the Drava valley. All Drava affluents show the deviation toward the SE and E as an influence of the dextral tectonic movements (Prelogović et al., 1988., Prelogović et al., 1983., Bognar, 1980)

Vrijedi pravilo da sve lomove s povećanim padom, i u morfološkom smislu izraženom erozijom, slijede sektori s povećanom akumulacijom i manjim nagibima. To istodobno ne znači da se bitno promijenio mehanizam vodotoka. On konstantno ostaje u okvirima mehanizma voda srednjeg toka, s tim da sektore s povećanim padom vodnog lica karakterizira erozijsko-akumulacijska varijanta srednjeg toka, a relativno spuštene dijelove u nizvodnom smjeru akumulacijsko-erozijska varijanta voda srednjeg toka.

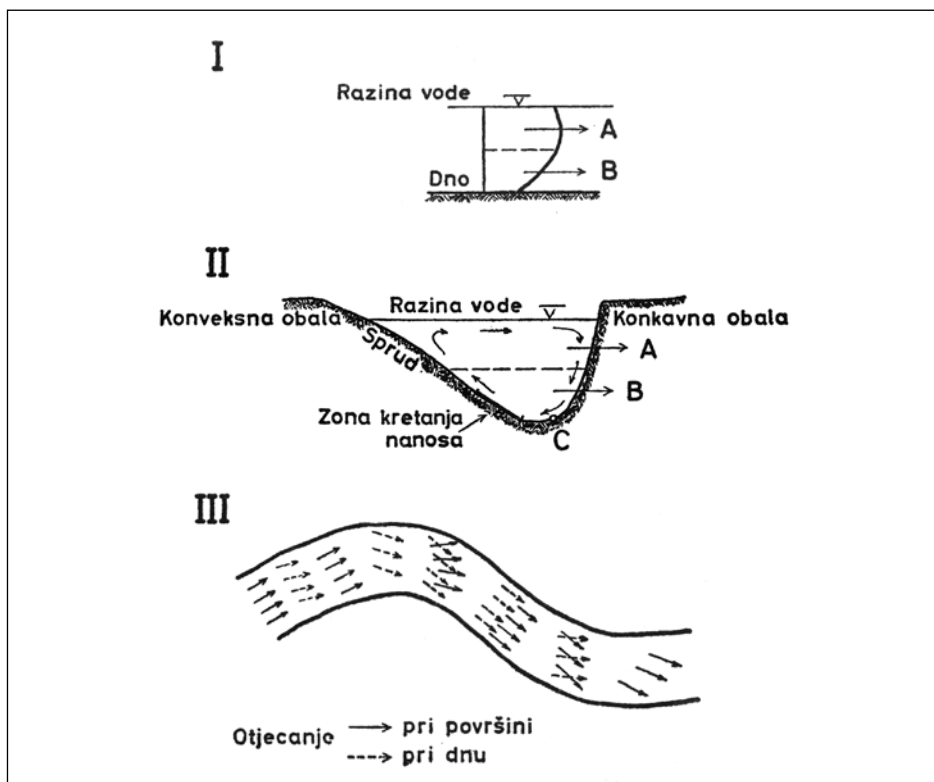


Sl. 4. Poprečni profili korita Drave i dijelova poloja u području Križnice idući od istoka prema zapadu (Hidrografski atlas rijeke Drave, 2003 – profili 108, 112, 114)

Fig. 4 Transversal profiles of the Drava River bed and floodplain parts in the area of Križnica going from the east towards west (Hidrogeografski atlas rijeke Drave, 2003, profiles 108, 112, 114)

Vrlo veliki utjecaj na razvoj uzdužnog profila rijeke imali su regulacijski radovi koji se u istraživanom sektoru provode od 1830 – 1844. godine. Prvenstveno se odnose na presijecanje meandara, i time se skratio riječni tok i izbjeglo oblikovanje ledenih čepova u koritu, koji su u prošlosti uzrokovali katastrofalne poplave. To se odrazilo na erozijsku i akumulacijsku aktivnost Drave, i to kao rezultat povećanja nagiba. Treba dodati i utjecaj izgradnje vodnih stepenica u uzvodnom toku Drave u Hrvatskoj, Sloveniji i Austriji, kao i jako ogolićavanje izvorišnog prostora rijeke.

*Meandarski tip korita.* Na najvećem dijelu svog toka Drava meandrira, no to ne znači da ujedno ima, kao što se prethodno ukazalo, ravnotežni uzdužni profil. Od poteza do poteza utvrđene su znatne razlike kao rezultat utjecaja tektonike. To utječe i na morfološke osobine korita na istraživanom dijelu toka Drave. Dimenzije korita su izrazito varijabilne. Širina mu se kreće od 130 do 400 m (Hidrografski atlas Drave i topografska karta 1 : 25 000), a u dijelovima s pojavom ada korito je uže i od 130 m, dok se širina rukavca kod Širinskog otoka kreće između 25 – 75 m.

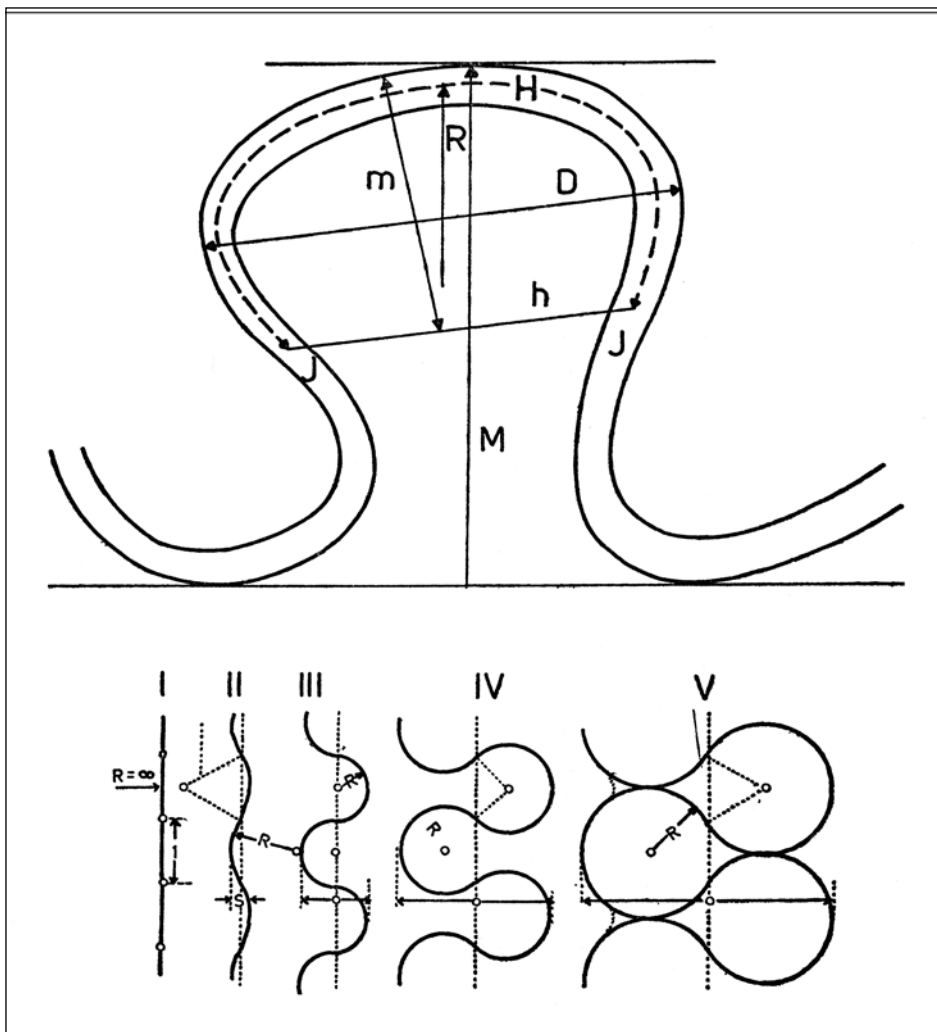


Sl. 5. Zakonitosti i osobine kretanja vode vodotoka u meandru (prema Karolyi Z. 1957). I. kretanje vode u vodenom stupcu korita, II. kretanje vode i nanosa u poprečnom profilu korita, III. kretanje vode u meandru

Fig. 5 Patterns and characteristics of the river regime in meander (according to Karolyi Z., 1957). I - water regime in the water pillar of the river bed, II - water and alluvia changes in the water bed transversal profile, III - water regime in meander



Dubina korita, u skladu s njegovim meandričnim osobinama, također je vrlo promjenjiva, prosječno 5 – 6 m, no utvrđene su i dubine od 15,9 m (Hidrografski Atlas Drave, 2003). Najveće širine i dubine korita u pravilu su u tjemenu meandra, a najmanje širine u prostoru infleksijskih točaka, što je u skladu sa zakonitostima djelovanja voda srednjeg toka.<sup>5</sup>



Sl. 6. Faze stupnja razvoja meandara (prema Laszloffy W. 1931). Parametri dimenzija meandra: J=inflexijske točke, H=dužina luka između infleksija, h=dužina između infleksija, m=visina krivine, M=raspon krivine, D=širina luka meandra i R=radius meandra (krivine).

Fig. 6 Meander development stages (according to Laszloffy, W., 1931). Meander dimension parameters: J=inflexion points, H=length of the arch between inflexions, m=meander height, M=meander span, D=meander arch width and R=meander radius

Stupanj razvijenosti meandara ovisi od erozijske snage rijeke, a ova, pak, o masi i brzini vode, sili teži, centrifugalnoj sili i sastavu obala. Prirodno je, kao to je na to prethodno ukazano, da će u meandru voda destruirati onu stranu koja je nasuprotna najvećoj brzini toka. Međutim, meandar neće rasti samo bočno, već pod utjecajem centripetalne sile i u pravcu otjecanja toka, dakle, nizvodno. Tokom razvoja, krivine postaju sve oštrije i međusobno se sve više približavaju pa će se na kraju spojiti. Takav razvoj najbolje se može grafički i matematički pratiti na prikazanoj slici broj 6 i tabeli br. 1, preuzetim iz rada W. Laszloffy-ja (1913).

Tab. 1. Stupanj razvijenosti i razvojne faze meandra  
Tab. 1 Meander development stage

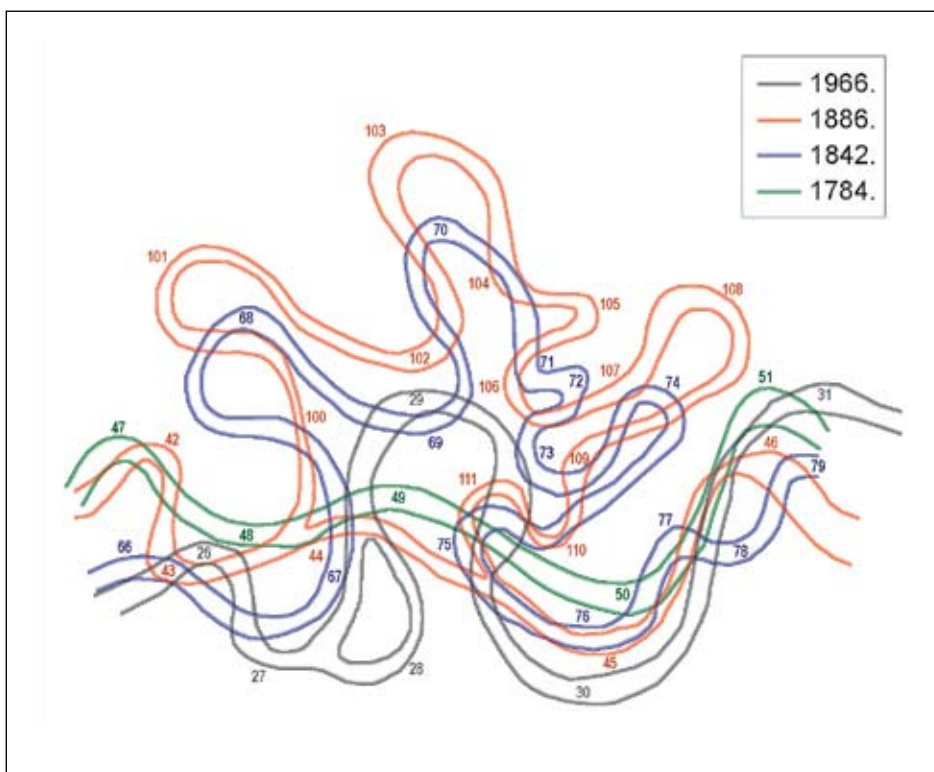
Parametri	Faze razvoja				
	I	II	III	IV	IV
Radijus krivine R		$1 = 1,00$	$\frac{1}{2} = 0,5$	$\frac{1}{2} = 0,707$	$1 = 1,00$
Dužina luka krivine	$1 = 1 \text{ III}/3$	$= 1,05 \text{ III}/2$	$= 1,57 \text{ 3III}/22$	$= 3,3 \text{ 5III}/3$	$= 5,23$
Relativan pad $Y = 1/s$	1	0,95	0,64	0,30	0,19
Visina krivine m	0	0,27	1,00	3,14	3,72
Centrifugalna snaga $P = I/R$	0	0,95	1,28	0,42	0,19

Tok Drave iz 1784. godine koji je kartiran vojnim snimanjem ima još uvijek karakteristike prirodnog toka, pa je najpogodnija osnova za utvrđivanje stupnja razvoja meandara rijeke. Prosječno najveći stupanj razvijenosti pokazuju meandri na potezu od državne granice do Valpova ali i kod Križnice.

Dimenzije meandara ovise o količini vode koju pronosi vodotok. To je u skladu sa zapažanjem da mali vodotoci imaju male, a veliki velike meandre. U konkretnom slučaju najbolji je primjer usporedba meandara Drave i Dunava. Veličina meandara također ovisi o nagibima i kutu pod kojim matica napada obale. Povećanjem nagiba raste dužina luka meandra i obratno, a što je kut pod kojim matica napada obale veći, širina meandra se povećava, ali mu se skraćuje dužina. Dodali bismo da dimenzije meandara ovise i o lokalnim prilikama. Naime, dužina luka meandra i poprečni profil korita ovise i o količini nanosa koji voda donosi pri ulasku u krivinu, zatim o sastavu obale. U slučaju otpornijeg materijala od kojeg je sastavljena obala, korito će biti drublje i uže, a krivine manje, i obratno, u mekšem materijalu oblikovat će se veće krivine s plitkim i širokim koritom. Smanjivanjem dubine korita smanjit će se i fluviorapcija, pa se uspostavlja ravnoteža erozijske i akumulacijske djelatnosti vodotoka. Vrijedi to, naravno, samo za konkavnu stranu meandra, a za konveksnu zakonitosti oblikovanja bitno se razlikuju.

U utvrđivanju stupnja razvoja i dimenzija meandra rijeke Drave korišten je kartografski materijal iz Atlasa rijeke Drave, koji daje stanje korita Drave (uzdužni i poprečni profil, fiksiranje vodnog lica i protoke) na temelju hidrografskog snimanja Drave za 1886. i

1966/68. godinu u mjerilu 1:10 000, i podaci I vojnog snimanja iz godine 1782/84. u mjerilu 1:28 800 (prema Mantuano J. 1970). Za izračunavanje osnovnih parametara dimenzija i stupnja razvoja meandara korišteni su podaci preuzeti iz odgovarajuće znanstvene literature (Laszloffy W. 1931, Somogyi S. 1974, Mantuano J. 1970. i dr.) gdje su: J = infleksijske točke, H = dužina luka između infleksija, h = dužina između infleksija, m = visina krivine, R = radijus krivine, M = raspon krivine, D = širina luka meandra, vrijednost =  $m/h$ , koja ukazuje na stupanj rzvijenosti meandra, vrijednost  $H/h$ , koja ukazuje na dužine meandra i pravca, a ukazati može i na starost meandra, vrijednost  $y = 4500/R$ , koja ukazuje na stupanj oštine krivine i odnos  $M/D$  (Sl. 6.).



Sl. 7. Položaj korita rijeke Drave i njegovo pomjeranje u razdoblju od 1784 – 1966/68 godine (prema Atlasu rijeke Drave, 1972, Mantuano, 1970); 1. Položaj korita rijeke Drave 1784 (na osnovu prvog vojnog premjera Josipa II), 2. Položaj korita rijeke Drave 1842 (prema prvom hidrografskom premjeru rijeke Drave) 3. Položaj korita rijeke Drave 1886 (prema drugom hidrografskom premjeru Drave), 4. Položaj korita rijeke Drave 1966/68 (prema posljednjem hidrografskom premjeru rijeke Drave) 5. Brojevi predstavljaju pojedine meandre i mrtvaje (vidi tablicu 8 – Bognar, 2006)

Fig. 7 Position of the Drava River bed and its movement in the period 1784-1966/68 (according to Atlas rijeke Drave, 1972, Mantuano, 1970): 1) Position of the Drava River bed in 1784 (on the basis of the first military measuring during the rule Joseph II), 2) Position of the Drava River bed in 1842 (according to the first hydrographical measuring of the river), 3) Position of the Drava River bed in 1886 (according to the second hydrographical measuring of the river), 4) Position of the Drava River bed in 1966/68 (according to the latest hydrographical measuring of the river), 5) Numerals represent particular meanders and oxbows (Table 8 – Bognar, 2006)

Tab. 2. Parametri meandara i mrtvaja rijeke Drave kod Križnice 1784, 1842, 1886 i 1966/68 godine (Bognar, A. 2006)

Tab. 2. Parameters of the Drava River meanders and oxbows near Križnica in 1784, 1842, 1886 and 1966/68 (Bognar, a., 2006)

**Godina: 1784**

RB/ Naziv	h	H	m	R	M	D	Y = 4500 / R
47	1,2	2,5	1,0	0,8	2,0	1,2	5,6
48	3,2	2,7	0,9	2,8	1,9	3,2	1,6
49	3,7	3,7	0,9	2,6	2,0	3,7	1,7
50	4,4	5,0	1,9	2,0	4,0	4,4	2,3
51	3,0	3,8	1,6	1,0	2,8	3,0	4,5

**Godina: 1842**

RB/ Naziv	h	H	m	R	M	D	Y = 4500 / R
66	1,5	2,8	1	0,4	2,2	1,5	11,3
67	2,3	2,5	0,5	1,7	1	2,3	2,6
68	3,8	7,7	2,4	1,6	4,2	4	2,8
69	1,6	5,8	2,1	1,1	5	2,3	4,1
70	2,8	5	1,7	1	4	2,8	4,5
71	1,8	5,8	2,2	0,6	3,7	2,1	7,5
72	1,5	1	0,4	0,3	1	1,5	15
73	0,7	1	0,6	0,3	2,5	0,7	15
74	1,5	3,2	1,2	0,8	2,5	1,7	5,6
75	0,6	4	1,8	0,6	0,8	1,2	7,5
76	1	1,1	0,3	0,4	2,5	1	11,3
77	2,8	6,8	1,8	0,6	1,5	3,9	7,5
78	1,6	2	0,5	0,6	1,3	1,6	7,5
79	1,7	2	0,4	0,9	1,2	1,7	5

**Godina: 1886**

RB/ Naziv	h	H	m	R	M	D	Y = 4500 / R
42	1,5	3	1,1	0,7	2,2	1,5	6,4
43	2,2	2,9	1,2	1,1	2,2	2,2	4,1
44	3,5	3	0,7	2,5	1,6	3,5	1,8
45	3,8	5	1,4	2	2,7	3,8	2,3
46	2,8	4	1,3	1,3	2,6	2,8	3,5

Dodatak*							
100	4,4	5	1,3	2,9	3,2	4,4	1,6
101	1,5	5	2	1,1	5,8	2,4	4,1
102	3	9	2,8	1,4	4,8	3,3	3,2
103	1,8	4	2,2	1,1	4,7	2,6	4,1
104	2	2,1	0,7	1,3	1,4	2	3,5
105	0,9	2	1,3	0,5	2,2	1,3	9
106	1,6	2,6	1,1	0,9	3,5	1,9	5
107	2,3	2,1	0,3	2	1,3	2,2	2,3
108	1,4	4,1	1,8	0,9	5,2	2,4	5
109	1,5	1,8	0,8	1,2	1,8	1,6	3,8
110	1	1,8	0,8	0,6	1,8	1,2	7,5
111	1,3	2,1	1,1	0,7	1,8	1,5	6,4

**Godina: 1966**

RB/ Naziv	h	H	m	R	M	D	Y = 4500 / R
26	2,5	3	1,3	1,8	2,4	3,1	2,5
27	2	4,5	1,2	1,8	2,8	2,3	2,5
28	3	5	1,8	1,7	2,4	3	2,6
29	3	7	2,6	1,5	6,3	3,3	3
30	4,4	10	3,9	2,5	6,2	4,5	1,8
31	5	7	2	2,5	3,4	6,5	1,8

\* napomena dodatak odnosi se na parametre mrtvaja rijeke Drave nastale nakon presjecanja vratova meandara 1844 godine

Međutim, unatoč presijecanju starih krivaja, noviji razvoj od 1886-1966/68. samo potvrđuje osnovnu tendenciju razvoja meandara. Naime, ponovo dolazi do procesa sabijanja meandara velike oštine (4,1 – 15, posebno meandri Jadica y = 15, Kisloka y = 15, Loka 2 y = 11,3 i Segedin y = 7,5) što upućuje na zaključak da naponi za skraćivanje toka nisu urodili odgovarajućim plodom, nego su, zbog neadekvatnih zahvata, samo potencirali negativne procese i aktualizirali probleme.

Uobičajeno je pretpostaviti da raspon krivina M može doseći maksimalnu vrijednost 1:18, tj. da raspon krivine bude do 18 puta veći od širine vodom punog korita vodotoka. Prema plodacima iz Atlasa Drave (1972), vrijednost M u promatrane četiri godine (1784, 1842, 1886. i 1966/68) u posljednjih 70 km toka kreće se u rasponu od 3,64 – 18,18, ukoliko se prosječna širina Drave za istraživane dijelove toka uzme 275 m. Velike se, međutim, razlike pokazuju u pojedinim godinama i karakterističnim sektorima. Najveći rasponi varijabilnosti raspona meandara, kao po pravilu, javljaju se na potezu od državne granice do Valpova. Kako rijeka svoje krivine oblikuje u homogenom klastičnom materijalu

– sitni do srednjezrnčani pijesci, ilovasti pijesci, pjeskovite ilovače, ilovače, ilovače i gline – svojih vlastitih naplavina, to je teško pretpostaviti da bi isti bitno utjecali na takve razlike u razvoju meandara, osim naravno, da zbog svoje «mekoće» samo stimuliraju maksimalni razvoj krivaja.

Sa sigurnošću se može reći da su navedene razlike u rasponu meandara također tektonski uvjetovane. U pravilu, meandri najvećeg raspona (od preko 10–18,18) javljaju se uz recentne «žive» rasjede. Utvrđeno je da nizvodni pomaci meandara u pravilu nadmašuju one bočne, što znači da je utjecaj gravitacije znatno jači od utjecaja centrifugalne sile.

#### 4. MIKRORELJEFNI OBLICI POLOJA I KORITA

M r t v a j e su plitka udubljenja polumjesečastog ocrta. Predstavljaju ostatke nekadašnjih zavoja rijeke (meandara), koja su se u slučaju postojećih (vidi sl. 6 od 100 – 111) nastale antropogenom intervencijom 1844. godine, kada se regulacijskim radovima nastojalo skratiti vodeni put, olakšati protok voda i spriječiti poplave zbog stvaranja ledenih čepova (Mantuano, 1970, Bognar, 1990). Tako nastale mrtvaje, posebno Jada, Franičeva jada, Kišerde, Segedin, Jadica i Uska Luka su relativno velikog opsega luka (H), i u pravilu su u odmaklijoj fazi organogeno–mineralogenog zatrpavanja i vrlo često su zastrte močvarnom vegetacijom (Jada, Franičeva jada i dijelom mrtvaja Segadin i kanalizirani nastavak mrtvaje Uska Luka, koja završava u koritu Drave 300 m uzvodno od 156 RKM). Prema topografskoj karti 1 : 25 000 uočljive su mrtvaje Drave koje su danas već potpuno zatrpane i pretvorene u livade, oranice ili se u okviru njih javljaju manji fragmenti močvarnih površina.

G r e d e su za 2 – 5 m (iznad srednjih voda) povišena asimetrična ispuččenja terena lučnog ocrta neposredno u tjemenu meandara i mrtvaja te rukavaca. Oblikovane su bočnom erozijom vodotoka, na što ukazuje više ili manje izražen strmac koji ih odvaja od dubljeg dijela korita i mrtvaje. Grede su plavljene periodično, samo za izuzetno visokih vodostaja. Poplave su međutim kratkotrajne pa se za grede vežu naselje Križnica i šumska vegetacija.

M e a n d a r s k i s p r u d o v i su manja asimetrična uzvišenja (0,5 – 1 – 1,5 m) u okviru konveksne strane krivaja (ima ih nekoliko i to na 157, 171, 173 i 177 RKM, Mantuano, 1970). Akumulacijski su oblici nastali sedimentacijom dravom erodiranog materijala u tjemenu prve uzvodne krivaje. Lučnog su ocrta i u pravilu se pojavljuju u međusobno usporednim sustavima. Izraz su dakle sukcesivnog bočnog razvoja i micanja korita rijeke. U cijelosti grade međuprostor između krivaja rijeke i mrtvaja. Tijekom faze mrtvaje sukcesija meandarskih sprudova je zasuta, nakon što su spiranjem ili eolskom akumulacijom zatrpana lučna udubljenja između dvaju sprudova. Često su i pod šumskom vegetacijom ili su pak iskorištene kao oranične površine.

S p r u d o v i u koritu Drave su dinamički reljefni oblici (ima ih nekoliko između 173 i 174 RKM, Mantuano, 1970). Nastaju kao izraz akumulacijskih procesa u koritu toka. Radi se *de facto* o svojevršnim hidrodinama, asimetričnog uzdužnog ocrta; uzvodni dio položiti a nizvodni ustrmljen. Za plavnih voda dakle, povećanih proticaja sprudovi migriraju nizvodno. Ukoliko dolazi do njihovog zbijanja, nastaju ade.

Ad a je riječni akumulacijski otok koji slično sprudovima također migrira nizvodno za velikih proticaja (ima ih četiri u okviru analiziranog sektora). Ade su često pokrivene šumskom vegetacijom bijelih i krutih vrba i topola.

## 5. REGULACIJE I NJIHOV UTJECAJ NA OBLIKOVANJE KORITA

Osnovni zadatak regulacijskih radova jest poboljšanje uvjeta korišćenja vodotoka u prometnom smislu te osiguravanje nesmetanog i što brže mogućeg otjecanja tzv. velikih ili poplavnih voda i sprječavanje stvaranja ledenih čepova. Regulacijski radovi na uređenju korita u pravilu trebaju prethoditi izgradnji obrambenih nasipa uz rijeku i drenažnih kanala i crpki u poloju. U istraživanju osobina i morfogeneze korita od prvenstvenog je interesa kako su se navedeni regulacijski radovi odrazili na razvoj uzdužnog profila korita Drave kao i na pravac i karakter izmjene erozijskih i akumulacijskih procesa i njima nastalih reljefnih oblika.

Prema karakteru, obimu i značenju u povijesti regulacijskih zahvata na Dravi, mogu se izdvojiti tri vremenski različita razdoblja, i to od prvih zahvata do kraja dvadesetih godina 19. stoljeća, između 1830. i kraja 1870-ih godina, i treće, od osamdesetih godina prošlog stoljeća na ovamo.

Regulacijski zahvati do kraja dvadesetih godina 19. stoljeća bili su provedeni bez ikakvog sveobuhvatnog plana i nisu imali gotovo nikakvu teorijsku znanstvenu osnovu. Često puta ni inženjeri koji su radove izvodili nisu posjedovali odgovarajuća znanja (Erdösi F., 1977). Osnovni cilj radova bio je osiguranje što bržeg odvođenja velikih poplavnih voda i sprječavanje erozije obala. Poboljšanje vodenog puta tada je još od drugostupanjske važnosti. Regulacije tog vremena imaju stoga uglavnom lokalno značenje, pa su i rješenja bila privremena. Presjeci meandara bili su kratkog vijeka. Rijeka se gotovo redovito nakon godinu-dvije vraćala u svoje prvobitno korito ili je oblikovala novo. Lokalna ravnoteža konsumacijske sposobnosti rijeke bila je istovremeno poremećena, korito se proširivalo i oblikovali su se brojni sprudovi, i to kao rezultat deformiranja korita u gornjem i donjem dijelu presjeka krivaje. To je bio uzrok brojnih ponavljanja radova na presjecima, no, bez pozitivnijeg rezultata. Prvi takav zahvat u Baranji izvršio je presijecanje krivaje kod Bijelog Brda nizvodno od Osijeka 1805. godine. Interesantno je da je to uopće prvi provedeni presjek meandra na rijeci Dravi, kojih je inače od 1784. do 1848. godine na potezu od legrada (ušća Mure) do ušća Drave u Dunav bilo čak 62. Ukupna dužina presjeka iznosila je 75 km, pa je 1848. godine dužina od Legrada do Aljmaša iznosila 272 km, u odnosu na prethodna 452 km. Prema J. Mantuáno-u (1976), Drava je skraćena s 352 na 263,2 km. Za naš rad važni su presjeci izvršeni od 1830 – 1844. godine. Najveći broj tih presjeka izvršen je od 1830. do 1844. godine. Razdoblje od 1830 do 1870. godine karakterizirano je još uvijek regulacijskim radovima bez odgovarajućih hidroloških i hidrauličkih osnova. To je istovremeno doba veoma značajnih i opsežnih zahvata provedenih na jedinstvenim principima, posebno što se tiče presijecanja meandara, koji su sada rađeni prvenstveno zbog skraćivanja plovnog puta.

To se naročito odnosi na tok Drave nizvodno od Barcsa. Opsežni regulacijski radovi bili su pokrenuti nakon katastrofalne poplave 1827. godine dekretom Kraljevske komisije

za regulacije iz 1833. godine. Naime, poplava je jednoznačno ukazala i dokazala lokalni karakter i neuspjelost dotadašnjih regulacija. Između 1842. i 1846. godine provedeno je prvo hidrografsko snimanje Drave. Predviđeno je da se rijeka od Zakàny-a do njena ušća regulacijskim radovima podijeli na četiri ravna poteza. Radovi su i započeli izgradnjom glavnih jaraka na temelju tzv. «njemačkih» principa (J. Mantuàno, 1970). Danas je sasvim jasno da se jedan vodotok s prirodnim vodnim režimom ne može podijeliti na ravne poteze, jer bi oni, zbog dinamike vodnog pokreta i zakonitosti tih pokreta, kao i različite otpornosti litološke podloge, uskoro svoju ravnu trasu pretvorile u ritmičku. Upravo stoga ti regulacijski radovi nisu uspjeli unatoč ogromnim materijalnim ulaganjima.

Jedinstveni principi na hidrološkim i hidrauličkim osnovama primijenjeni su u regulacijama nakon 1870, točnije od 80-ih godina prošlog stoljeća. 1886. godine provedeno je novo hidrografsko snimanje rijeke, na čijim je osnovama omogućena regulacija toka koja je bila temeljena na dimenzioniranju korita. Izgrađeni su brojni zaštitni objekti: 2 posmjerna objekta na 157 RKM.

Određeni su regulacijski nivoi, kao što je «0» nivo vodnog lica itd. Pri određivanju oblika korita predviđene su i takve dubine koje bi omogućavale promet šlepora i do 400 t pored punog opterećenja. Iako u to doba presjeci meandara predstavljaju najvažniju metodu u regulaciji toka, istovremeno započinje i izgradnja brojnih obalnih zaštitnih objekata, kao što su posmjerni objekti i pera ili traverza, čime se postigla veća stabilnost obala izloženih bočnoj eroziji vodotoka.

Regulacijski radovi su prekinuti 1915. godine (za I. svjetskog rata), da bi ponovo oživjeli zajedničkim jugoslavensko-madžarskim ugovorom od 1959. godine. Značajnijih zahvata, međutim, na baranjskom potezu do sada nije bilo, i do njih će svakako doći obzirom na buduću izgradnju vodne stepenice i HE Osijek kod Belišća.

Tab. 3. Promjene dužine korita Drave kod Križnice u razdoblju 1784 – 1966/68 godine  
Tab. 3 *Changes in the length of the Drava River bed near Križnica in the period 1784-1966/68*

Godina	Dužina korita u km	Povećanje dužine u km	Smanjenje dužine u km
1784	17,7	-	-
1842	50,7	+ 33 km	-
1886	13,8	-	- 36,9
1966 / 68	19	+ 5,2	-

Izvor: Mantuano, J. 1970 – prema izračunu autora

Dinamika oblikovanja korita presijecanjem meandara i izgradnjom različitih građevnih objekata za fiksiranje korita bitno se mijenja u odnosu na prirodno stanje u razdoblju pred 1784. godine kada započinju regulacijski zahvati. Presijecanjem meandara u njihovu vratu odrazilo se prvenstveno na značajno skraćivanje dužine toka. U razdoblju od 1882 – 1886 u koje spada najveći broj presijecanja meandara, kod Križnice dužina toka Drave skraćena



je za 72,8 %. Međutim, zbog neadekvatnog pristupa regulacijskim zahvatima, rijeka je svoj pad nastojala oblikovati prema zakonitostima vodne dinamike, što je pak rezultiralo ponovnim produžavanjem toka do 1966 / 68 godine.

Prema arhivskom materijalu (Erdösi F. 1977) utvrđeno je da su meandarski presjeci u prosjeku bili široki oko 9-18 m i 1,5-2,1 m duboki, što znači da nisu bili široki kao prirodno korito rijeke. Nazivali su ih «vodeći jarci». U pravilu, ako je zahvat bio primjeren, ubrzo se erozijskim radom vode proširio do prirodnih dimenzija korita. Koliko je taj proces bio dug, ovisilo je o sastavu terena vrata mendra, širini korita, pada, kretanja vodostaja i od činjenice je li pravac usijecanja «vodećeg jarka» odgovarao hidrauličkim odnosima rijeke na tom dijelu toka. Misli se tu prvenstveno na podudaranje pravca «vodećeg jarka» s maticom, točnije s tzv. kinetičkom osi vodotoka. Najčešći uzroci neuspjeha presijecanja meandara mogu se dovesti u vezu s pojavom jake akumulacije i stvaranja sprudova na izlaznom dijelu presjeka, i to zbog nedovoljnog osiguranja njegovih obala od erozijske aktivnosti vodotoka i nepodudaranja pravca iskapanog jarka s kinetičkom osi rijeke, pa je ona tek putem pera ili traverzi bila skrenuta u novi pravac otjecanja.

## 6. GEOEKOLOŠKO VREDNOVANJE RELJEFA

Kako se svaki od elemenata prirodne osnove treba promatrati kroz međuovisnost djelovanja svih njih (geološka osnova, reljef, vode, tla, vegetacija i životinjski svijet) to u ovom trenutku istraživanja Križnice kao značajnog krajolika, zbog još uvijek nedostatne baze podataka geoeколоško vrednovanje nije u mogućnosti u potpunosti provesti. Do nje treba se doći odgovarajućim monitoringom u budućnosti. Ipak, načelno što se tiče geomorfološke problematike, u nastavku će biti iznesene trenutne spoznaje i smjernice.

*Odnos reljefa i biodiverziteta u sadašnjim uvjetima.* Za današnju biljnu i životinjsku raznolikost odlučujuće značenje imaju današnja obilježja reljefa, hidrološke prilike i hidrogeološke osobine terena. Misli se tu na zakonomjernosti erozijsko-akumulacijskog djelovanja plavnih voda Drave, koje su u današnjim uvjetima slabije izražene. Obzirom da je plavljenje istraživanog prostora uglavnom periodičkog karaktera je dotok „svježih“ voda u mrtvaje nedostatan, pa u njima prevladava organogeno-močvarno zatrpavanje-akumulacija. Procjeđivanje podzemnih voda kroz vodonosnike je također nedostatan za obnavljanje akumulacije vode u mrtvajama. Rezultira to smanjivanjem količine vode, zamuljivanjem udubljenja i kao posljedica toga širenje močvarne vegetacije tijekom posljednjih 164 godine od kada su presjecanjem vratova nekadašnjih meandara Drave iste pretvorene u mrtvaje. Taj zaključak vrijedi promatrajući razvoj krajolika (krajobraza) u vremenu i u prostoru čime su uvjetovane i zakonomjernosti prostornog rasporeda biljnih i životinjskih zajednica. Sve većim utjecajem antropogenih aktivnosti dinamika oblikovanja korita Drave i njene naplavne ravnj (poloja) znatno se izmjenila u odnosu na prethodno razdoblje. Regulacijski zahvati rezultirali su skraćivanjem dužine toka Drave čime je nešto povećan nagib korita a time i erozijska snaga vodotoka. Vodotok danas stoga ima, može se slobodno reći, blago usjecajući karakter. Svjedoči tome i smanjen intenzitet oblikovanja ada i sprudova i plavljenja naplavne ravnj. Istodobno sve intenzivnije zamuljivanje mrtvaja i smanjivanje „otvorenih“ vodenih površina i širenja oraničnih površina dovodi

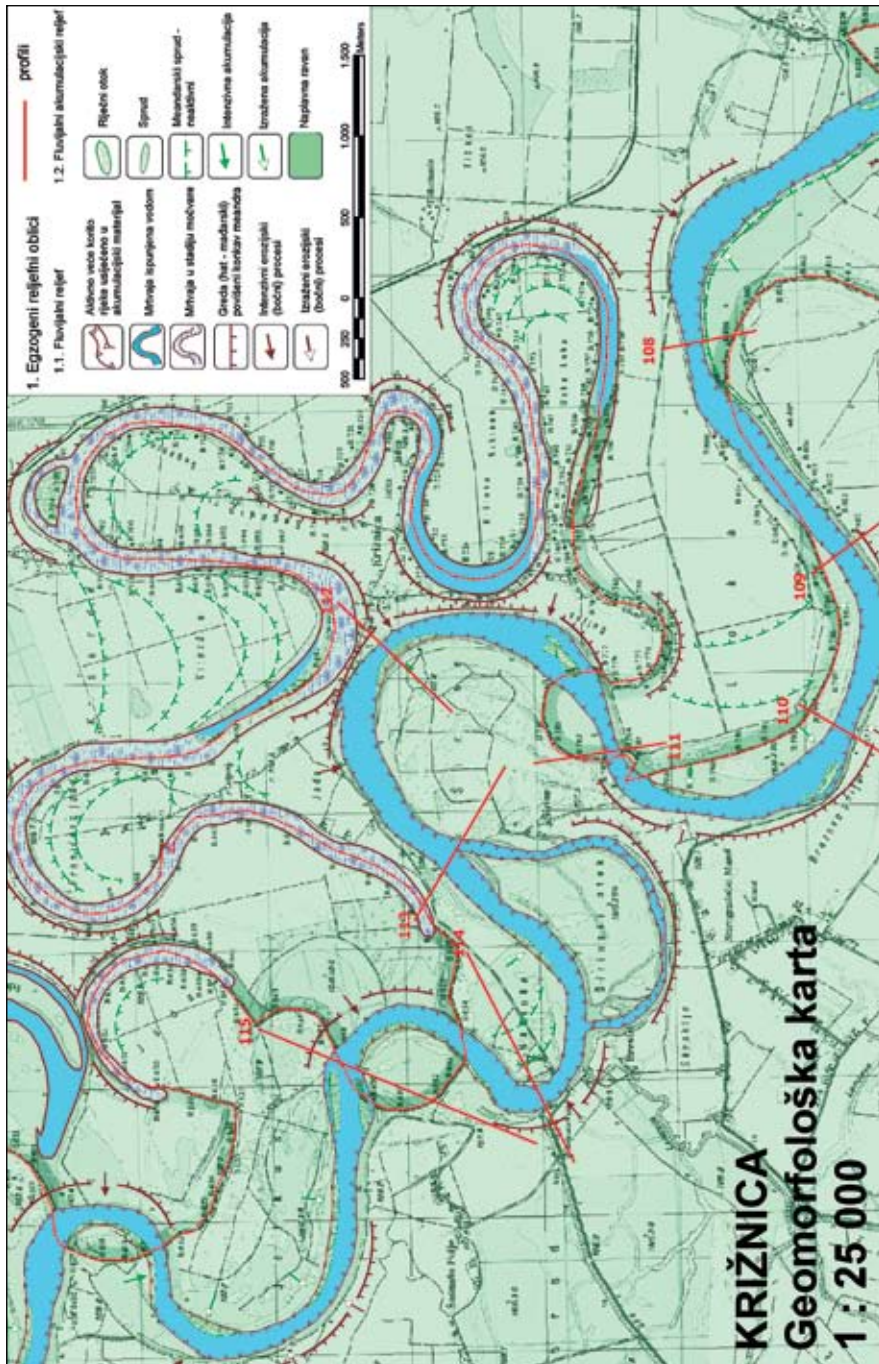
do osiromašenja biodiverziteta prostora. Takovim razvojem izmjenila se i pedogeneza tala a i prvobitni vegetacijski pokrov. Promjene hidrološkog režima plavljenja, zbog tendencija snižavanja vodostaja rijeke Drave svog izraza ima u skraćivanju vremena plavljenja inudacijskog područja; procesi mineralogenog taloženja smanjili su se u svom intenzitetu a s druge strane, kao što je to već ranije naglašeno, došlo je do pojačanog zatrpavanja. Posljedica toga je sve izraženija eutrofikacija voda.

## **7. GEOMORFOLOŠKI RAZVOJ I NJEGOV UTJECAJ NA DALJNJE PROMJENE – PRIJEDLOZI ZA REVITALIZACIJU**

Procesi erozije u principu su najizraženiji na konkavnim stranama recentnih meandara Drave. Posebno su izraženi i tjemenu pojedinih krivina: Jad, Nađ Luka, Širine i Loka 2, zatim na uzvodnim dijelovima ada. Upravo stoga, obale tjemena meandara najčešće su obložene kamenom međutim, unatoč tome i one se mjestimično destruiraju. Navedeni trendovi recentnog oblikovanja reljefa poloja, ukoliko se ne poduzmu odgovarajuće mjere za izmjenu današnjih trendova erozijskih i akumulacijskih procesa rezultat će povećanjem ocjeditosti inudacijskog prostora i konačno zatrpavanjem brojnih mrtvaja.

Pojačanjem sušnosti prostora povećat će se i bogatstvo biljnih vrsta. Rezultat će to u krajnjoj liniji izmjenom strukture krajolika, i to u tolikoj mjeri da će to dovesti u pitanje oportunist dalje zadržavanja današnje kategorije zaštite prostora Križnice. Da bi se to spriječilo nužno je provesti odgovarajuće mjere revitalizacije, posebno izmjenama današnjih hidromorfoloških odnosa u okviru postojećih mrtvaja:

1. Odgovarajućim građevinskim i vodoprivrednim zahvatima nužno je osigurati priljev svježih voda iz korita Drave u mrtvaje i to prvenstveno u Franićevu jadu, Segedin, Jadicu i Usku Luku.
2. Osiguranje priljeva potrebnih količina vode iz Drave trebalo bi se dovesti u vezu s odgovarajućim vodostajima i proticajima vodotoka. Misli se tu na vremenski interval trajanja plavnih voda.
3. Inženjersko–građevinski zahvat po našem mišljenju treba prilagoditi postojećoj hidromorfološkoj situaciji, uzimajući u obzir najpovoljnije odnose erozijsko–akumulacijskih procesa na pojedinim dijelovima korita Drave. Zbog intenzivne bočne erozije u tjemenu pojedinih meandara, treba ih izbjegavati za bilo kakovu gradnju distribucijskih kanala ili pak za ugradnju distribucijskih cjevovoda. Jedna od napovoljnijih lokacija za izgradnju navedenih objekata koji bi osigurao dotok odgovarajućih količina voda Drave prema mrtvajama bila bi negdje oko istočne položene infleksijske točke meandra Nađ Luke. Treba osim toga osigurati i odljev suvišnih voda u korito Drave, i to proširivanjem kapaciteta kanala Crni Jarak koji povezuje mrtvaju Uska Luka s Dravom.
4. Navedenim vodozahvatima smanjio bi se stupanj eutrofikacije voda mrtvaja, smanjio bi se intenzitet njihovog zamuljivanja i pojačao diverzitet istraživanog područja Križnice.



Sl. 8. Geomorfološka karta Križnica, 1 : 25 000  
 Fig. 8 Geomorphologic map of Križnica area, 1 : 25 000

## POZIVNE BILJEŠKE

1. Pod mehanizmom voda nekog vodotoka podrazumijeva se karakter morfološkog djelovanja u pojedinim dijelovima njegov toka. Izdvojiti se mogu tri osnovna tipa mehanizma voda, i to vode tzv. gornjeg toka gdje prevladava usijecanje, vode donjeg toka gdje prevladava akumulacijska aktivnost, te vode tzv. srednjeg toka gdje dominira bočna erozija. Prema tome, *osobine mehanizma voda određene su odnosom erozijskih i akumulacijskih aktivnosti vodotoka i osobinama i količinom njegova nanosa*. Količine nanosa u vodotoku ovise o njegovu granulometrijskom sastavu, specifičnoj težini, obliku i brzini voda vodotoka, koje su bitni činioci njegove erozijske snage. Ukupna erozija vodotoka najizrazitija je za najvećih vodostaja i najvećih proticaja, pa u skladu s tim, i količina nanosa koja svojom prisutnošću povećava i korozivnu snagu vodotoka; najveća je za maksimalnih proticaja i vodostaja. Tada su, osim toga, i najveći promjeri zrna nanosa u rijeci. Akumulacijska djelatnost vodotoka bila bi, prema tome, za vrijeme srednjih i malih vodostaja i proticaja.
2. Kod rijeka koje meandriraju mogu se u osnovi lučiti *dvije varijante mehanizama njihovih voda, i to erozijsko-akumulacijska, s naglašenim prevladavanjem erozije, dakle meandrirajuće-usjecajuću tok, i akumulacijsko-erozijska varijanta, s dominacijom akumulacijskih procesa*. Svog izraza to nužno ima i u morfo-genetskim osobinama korita i poloja rijeke.

U klasičnom smislu u koritu meandričnog toka erozija prevladava u konkavnom dijelu riječne krivine, tj. u tjemenu meandra, a akumulacija na konveksnom dijelu meandra (Cholnoki J., 1926, Thornbury W. D., 1954, Friedkin J. F., 1945). Iz toga slijedi karakteristična asimetrija poprečnog profila korita s pojavom erozijskih udubljenja uz konkavne obale i sprudova uz konveksne obale meandra, koji se, međutim, u skladu s bočnim i nizvodnim migriranjem korita brzo zatrpavaju, odnosno premještaju. U strukturi reljefa poloja karakteristična je pojava mrtvaja i greda. Međutim, u slučaju varijante akumulacijsko-erozijskog tipa mehanizma voda srednjeg toka morfološkija korita i poloja ima složeniju strukturu. Rijeka, istina, i dalje meandrira, ali zbog njene izraženije akumulacijske aktivnosti u koritu sve je više ada i sprudova, a pojavljuju se i rukavci – reljefni oblik karakterističan za mehanizam voda donjeg toka.

3. Kada se govori o koritu nekog vodotoka, misli se na šire ili uže linearno izduženo udubljenje, nagnuto u smjeru pada terena, čije dublje dijelove ispunjava tekuća voda, a više samo povremeno. Izuzetak čine povremeni tokovi pojedinih klimatsko-morfoloških oblasti. Treba, međutim, reći da je poloj također dio korita koje ono koristi za otjecanje samo u vrijeme plavnih voda. Tu se misli kako na široke naplavne ravni tako i na duboko usječena korita čiji su viši dijelovi zapravo dijelovi poloja, jer ih voda veoma rijetko plavi, i to samo za visokih vodostaja. U skladu s time mogu se izdvojiti korita tzv. niskih, srednjih i visokih voda. Kod nizinskih tokova, kao što je dravski, reljefna struktura korita tzv. niskih i srednjih voda ovisna je o karakteru mehanizma voda vodotoka. Morfološki razvoj korita Drave prvenstveno je ovisan o faktorima erozije, a to su fluviorapcija (Thornbury W. D., 1954) ili tzv. pokretačka snaga voda rijeke, korazija, korozija voda i atricija. Krećući se turbulentno i laminarno, vode vodotoka mehanički destruiraju strane i dno korita, noseći taj materijal u svom nizvodnom toku kao nanos. Izražava se tzv. kritičnom brzinom ( $A/V_{kr}$ ), tj. brzinom vode koja je potrebna da pokrene odgovarajuću prosječnu veličinu zrna-čestica u koritu rijeke. Kritična brzina ili fluviorapcija ima odlučnu ulogu u lateralnoj eroziji vodotoka pa se ne može izjednačiti s ukupnim učinkom riječne erozije. Treba, naime, uzeti u obzir i koraziju riječnog korita putem kombiniranog djelovanja mase protočne vode i vučenog nanosa. Korazija ima, prema tome, vodeću ulogu u udubljivanju korita. Slijedi zaključak da *kombinirano djelovanje fluviorapcije, korazije i korozije voda daje ukupnu eroziju vodotoka*.
4. To je i razumljivo obzirom da se tu radi o stvarnom (neusaglašenom), a ne normalnom (suglasnom) profilu riječnog toka, koji bi pretpostavljao postojanje pravilne parabolične krivulje na kojoj bi svakoj nizvodnoj točki na profilu odgovarala vrijednost manjeg pada u odnosu na uzvodnu točku.
5. Eksperimentalno je dokazano (Friedkin J. V. 1945), da, ukoliko su zadovoljeni prethodno navedeni uvjeti, razvoj meandara započinje oblikovanjem spruda uz jednu od obala, što je rezultat fluviorapcijskog djelovanja voda vodotoka. Sprud skreće maticu rijeke prema suprotnoj obali, gdje se ponavlja isti proces. Idući nizvodno, oblikuju se meandri sa sve većom amplitudom. U skladu s većom turbulencijom voda u tjemenu meandra, što znači snažnijom fluviorapcijom, poprečni profil korita dobiva tipično trokutasti, asimetrični izgled (vidi profile 108, 112 i 114).

Zbog turbulentnog kretanja voda je na konkavnom dijelu meandra prisiljena duž strane korita vršiti pokrete prema dolje. Krećući se niz stranu korita, voda fluviorapcijskom snagom destruirala (ispire) materijal koji sudjeluje u sastavu korita. Najveću fluviorapcijsku snagu postiže na dnu korita, gdje zbog promjene nagiba naglo povećava brzinu. tu se stvara erozijsko udubljenje, a erodirani materijal pridrena struja prenosi prema

sredini korita. Tako dolazi do bočnog podsijecanja strane korita – obale koja se takvim načinom povećava brzinu. Tu se stvara erozijsko udubljenje, a erodirani materijal pridnena struja prenosi prema sredini korita. Tako dolazi do bočnog podsijecanja strane korita – obale koja se takvim načinom povremeno urušava. Opće je poznato da na kretanje voda u meandru uz silu težu djeluje i centrifugalna sila i otpor (strujanje). Kao rezultat otpora brzina voda se prema strani korita i njegovu dnu smanjuje, najveća je u sredini korita blizu površine (matica). Centrifugalna sila nastoji vodu otkloniti prema konkavnoj strani meandra. Veličina joj je jednaka kvadratu brzine vode, a s radijusom krivine obrnuto je proporcionalna. Zbog otpora površine dna, u vertikalnom profilu vodenog stuba korita brzina vode nije jednaka nego pokazuje različite vrijednosti po pojedinim profilu, blizu površine mnogo je veća nego pri dnu. U skladu s tim, na površinske dijelove vodenog stuba djeluje veća centrifugalna sila, a na pridnenu manja, što znači da će se voda u površinskom dijelu otkloniti prema konkavnom dijelu meandra, a pri dnu prema konveksnoj strani krivine. Kako istovremeno voda otječe nizvodno, formira se za krivine karakteristično turbulentno kretanje vode. Na konkavnoj strani meandra korito je, u skladu s jače izraženom fluviorapcijom, dublje, a na konveksnoj pliće. Kod infleksijskih točaka ima pravilan ovalni izgled. Pored fluviorapcije na produblјavanje korita utječe vučeni nanos izveden fluviorapcijom. suspendirani nanos igra pri tome posrednu ulogu, s tim da, s jedne strane, smanjuje fluviorapcijsku snagu voda, a, s druge, zasipava rukavce i mrtvaje. Erodirani materijal s tjemena meandra akumulira se uglavnom na istoj strani konveksnog dijela sljedeće krivine.

Kao posljedica turbulentnog kretanja vode u krivini pri dnu korita, kao što je već spomenuto, uvijek postoji poprečna struja vode koja maticom nošeni nanos skreće prema konveksnoj strani krivine. Iz toga slijedi da će se u slučaju stabiliziranih obala (kod Drave nakon antropogenih intervencija!), kada ne nastaje novi erodirani materijal, nanos nošen iz uzvodnog dijela kretati u blažim lukovima nego samo korito, i uvijek se kretati uz konveksne strane meandra. Kako se, međutim, u prirodi otpornost obala prema eroziji mijenja od mjesta do mjesta, a istovremeno i hidraulički faktori, to ni nastanak nanosa, tj. erozija obala ni njegova akumulacija nisu jednakomjerna.

Veoma je važno promotriti utjecaj izmjene vodostaja i proticaja na morfološko oblikovanje korita. Kod malih proticaja, odnosno niskih vodostaja, vodno lice u koritu ima stepeničast profil, jer plićine na gazu (infleksijske točke) uvjetuju uzvodni upor vode, tako da u krivini prevladava akumulacija, a na gazovima – zbog povećanog pada vodnog lica – erozija. Naprotiv, za visokih voda nivo vodnog lica izjednačeniji je pa u meandru prevladava erozija, a na gazovima akumulacija. Izmjenom vodostaja, odnosno proticaja, dolazi do promjena u kretanju matice, položaju najerodiranijeg mjesta u meandru kao i u kretanju nanosa i mjestima njegove akumulacije. Za niskih vodostaja, matica striktno prati krivudanje korita, i samo ispod infleksija (gazova), kao što smo prije naveli, ima kretanje nanosa – erozije.

Za srednjih vodostaja matica se širi, erodirani dio krivine nešto je nizvodnije, a nanos se taloži u gornjem dijelu obalnog spruda konveksnog dijela sljedeće krivine, pa i na gazu. Visoke ili plavne vode uvjetuju pokretanje nanosa na čitavom toku matice, ali luk krivine matice znatno je blaži od luka korita. Erozijska voda najjača je u tjemenu meandara i donjem dijelu krivine. Nanos se taloži na gazovima i gornjem dijelu spruda konveksne obale, a djelomično kreće i u donji dio spruda.

## LITERATURA

- Bognar, A.,** 1980 – Tipovi reljefa kontinentskog dijela Hrvatske, spomen zbornik o 30. obljetnici GDH, Geografsko društvo Hrvatske, Zagreb
- Bognar, A.,** 1985 – Basic geomorphological problems of the Drava river plain in SR Croatia, Geographical papers vol 6, department of geography, Faculty of sciences, Zagreb
- Bognar, A.,** 1990 – Geomorfologija Baranje, Savez geografskih društava Hrvatske, posebna izdanja, svezak 7, Zagreb
- Bognar, A.,** 2001 – Geomorfološka regionalizacija RH, Acta geographica croatica, vol. 34 (1999), Geografski odsjek PMF-a, Zagreb

- Bognar, A., Prelogović, E., Klein, V., Krušlin, Ž., Mesić, I., Sarkotić-Šlat, M., Hromatko, B.** 1994 – Regionalna rasprostranjenost paleošljunčanih naslaga u dijelu SZ Hrvatske i njihovo geomorfološko značenje u tumačenju morfogeneze reljefa i kvartarnih neotektonskih pokreta, *Acta Geographica Croatica*, Vol. 29., 7-18.
- Enciklopedija Jugoslavije, knjiga 5**, 1988, Jugoslavenski leksikografski zavod „Miroslav Krleža“, Zagreb
- Erdosi, F.**, 1977 – Human invention in natural process and its consequences – a geographical evaluation of the waters of south – eastern Transdanubia. *Földrajzi Értesítő*, god. XXVI, br 3 – 4, MTA – FTKI, Akadémiai Kiado, Budapest
- Friedkin, J. F.**, 1945 – A laboratory study of the meandering of alluvial rivers. U. S. Waterways Experiments Station, Wicksburg, Mississippi
- Hidrografski atlas rijeke Drave**, Budapest, Zagreb, 2003.
- Hidrografski atlas rijeke Drave**, Svezak 1, 2 i 3, RSV SRH, Zagreb, VNII R Madžarske , Budapest, Zagreb, 1972.
- Karoly, Z.**, 1957 – Conclusions morphologiques de deduites de resultat de l’etude du debit solide du Danube, *Földrajzi Értesítő*, god VI, br. 1, MTA – KFK, Budapest
- Laszloffy, W.**, 1931 – A Tisza – Volgy, *Vizügyi Közlemények*, Budapesté
- Lovász, Gy.**, 1963 – Geomorphologische studien im Drautal, *Dunátuly Tudományos Gyijtemény 47*, Series Geographica 25, Budapest
- Mantuánó, J.**, 1970 – A Dráva folyó, *VIZITERV*, Budapest
- Mantuánó, J.**, 1976 – Đurđevac – Barcsi vizlépcső – rendszer, *VIZITERV*, D – 1, 15.13/1, Budapest
- Prelogović, E., Velić, J.**, 1988, Kvarterna tektonska aktivnost zapadnog dijela Dravske potoline, *Geološki vjesnik*, vol. 41, Zagreb.
- Prelogović, E., Cvijanović, D.**, 1983, Prikaz neotektonske aktivnosti dije3la Slavonije, Baranje i Bačke, *Geološki vjesnik*, vol. 36, Zagreb
- Somogy S.**, 1974 – Meder es ártérféjlödes a Duna sárközi szakaszán az 1782 – 1950, között térképfelvételek tükrében, *Földrajzi Közlemények*, tom 98, MFT, Budapest

## SUMMARY

### Geomorphologic Characteristics of the Drava River Bed and its Floodplain in Wider Area of the Settlement Križnica

Andrija Bognar

The researched area is a part of the subgeomorphologic entity of the Upper Drava Valley (1.1.1.1.), which is included in the mezo-geomorphologic region of the Drava River Valley with the Danube River Valley (1.1.1.), and represents a part of the macro-geomorphologic region of the East-Croatian Plain with Upper Podravina (1.1.). Simultaneously, it represents a part of the micro-geomorphologic region of Podravina around Pitomača (1.1.1.2.). In the north and north-east it borders on the Republic of Hungary. Concerning its relief it is an almost ideally planated area on

108.7-103.8 m of height above sea-level. Its relative relief figures out at 0-2 m/km<sup>2</sup>, and the terrain inclination is 0-2‰. As to morphogenetics, the Drava River bed and its floodplain can be singled out. The floodplain has been formed by the Drava River accumulation-erosion activity during the Quaternary. Characteristics of the river water mechanism and its changes in time and space during the Holocene, essentially influenced by recent tectonics, geologic material and structure, as well as by anthropogeneous activities in the last two centuries, had a decisive impact on the formation of the present-day relief structure: oxbows, ridges, upper and lower levels of the floodplain. The floodplain formation is connected with the central flow water mechanism. The lateral erosion (fluvioraption) prevails in the river bed, erosion in the concave parts of meanders, and accumulation in its convex ones. It should be mentioned that the floodplain is also a part of the river bed during flood periods. Relief structure of the river bed depends on erosion factors, primarily on those of the lateral erosion. Fall of the real longitudinal river profile in the researched area (15.3 cm/km) is somewhat smaller than the fall of the flood waters face (20.2 cm/km), so the morphologic formation of the river bed (uncoordinated profile), especially that of the lateral undercutting, is connected with large flows and water levels in the late spring and summer (levelling regime).

Comparing the water face fall and determined fault systems in particular parts of the river bed, as well as its morphologic features, one can come to the conclusion that the prominent breaks of the water face curve can be connected with the fault N-S (by the stream Rinya) and NW-SE (Drava fault system). Impacts of tectonic movements have been recently present (negative sign). Therefore, significant differences in longitudinal and transversal profiles of the river have been defined (meander compaction, width and depth of the river bed). Meander development stage depends on the river's erosion power, and the latter depends on the mass and rapidity of water, centrifugal force and bank structure. During their development, the meanders become sharper and sharper and mutually closer to join each other at last. As there is crossing of the faults N-S and NW-SE with the right strike-slip movements near Križnica, the intensity of meander compaction is more prominent.

Regulation interventions, carried out in the period 1842-1844, in order to shorten the water flow and prevent inundations by cutting the meander necks, but without corresponding hydrologic and hydraulic bases, were not successful. In the period 1882-1886, the interventions were repeated, successfully, on the unique principles together with hydrographical shooting of the river. The banks were determined in the meander heads. However, because of the meander neck cutting, the settlement Križnica found itself on the left bank of the Drava River.

Nowadays, because of an interesting micro relief (meanders, banks and river islets), as well as a marked biodiversity, a wider area of the settlement has been declared an important landscape.

Primljeno (Received): 29 – 04 – 2008

Prihvaćeno (Accepted): 17 – 10 – 2008

**Akademik dr. sc. Andrija Bognar**, red. prof. u miru,  
Geografski odsjek PMF-a Sveučilišta u Zagrebu  
Marulićev trg 19/II  
e-mail: andrija.bognar@zg.htnet.hr

