

primljen: 24.07.2023.
korigovan: 04.10.2023.
prihvaćen: 07.10.2023.

izvorni naučni rad

UDK : 627.4/5:004.4(497.11)

ANALIZA MORFOLOŠKIH PROCESA U REČNOM KORITU PRIMENOM SOFTVERA HEC-RAS

Jana Novaković¹, Nebojša Milošević², Predrag Stojanović³, Aleksandra Ilić⁴

Rezime: Usled intenzivnih erozionih procesa, transportna sposobnost vodotoka u pogledu ukupnog nanosa često biva prevaziđena. Kao posledica dešava se deformacija rečnog korita, erozija ili zasipanje, koja zavisi od količine nanosa koja pristigne i odgovora vodotoka na tu količinu.

U radu je prikazan psamološki model u uslovima kvazi nestacionarnog strujanja vode napravljen pomoću softvera HEC-RAS (v 6.1.0) koji omogućava procenu transportne sposobnosti, opšte i lokalne deformacije korita. Analize su sprovedene na delu rečnog korita Zapadne Morave u Srbiji od HS Trstenik do HS Jasika.

Na osnovu rezultata proračuna procenjuje se erozioni potencijal u rečnom koritu i predlaže koncepcija uređenja rečnog korita u cilju njegove stabilizacije kao i sprečavanja značajne promene morfologije okolnog i nizvodnog područja.

Ključne reči: nanos, HEC-RAS, transport nanosa, deformacija rečnog korita, uređenje vodotoka

MORPHOLOGICAL PROCESSES OF RIVER BED ANALYSIS USING HEC-RAS SOFTWARE

Abstract: Due to intensive erosion processes, the transport capacity of watercourses in terms of total sediment is often exceeded. As a result, deformation of the river bed, erosion or deposition occurs, which depends on the amount of sediment that arrives and the response of the watercourse to that amount.

The paper presents a psammological model in conditions of quasi-unsteady flow created using the HEC-RAS (v 6.1.0) software, which enables the assessment of transport capacity, general deformation of the riverbed and local scour. The analyses were carried out on part of the river bed at the Zapadna Morava river in Serbia from HS Trstenik to HS Jasika.

Based on the results, erosion potential in the riverbed is assessed and the concept of the river training works is proposed in order to stabilize it and prevent a significant change in the morphology of the surrounding and downstream area.

Key words: sediment, HEC-RAS, sediment transport, river bed deformation, river training works

¹ MSc, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, jananovakovic888@gmail.com

² MSc, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, nebojsaneca0@gmail.com

³ MSc, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, pedja6591@gmail.com

⁴ dr, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, aleksandra.ilic@gaf.ni.ac.rs

1 UVOD

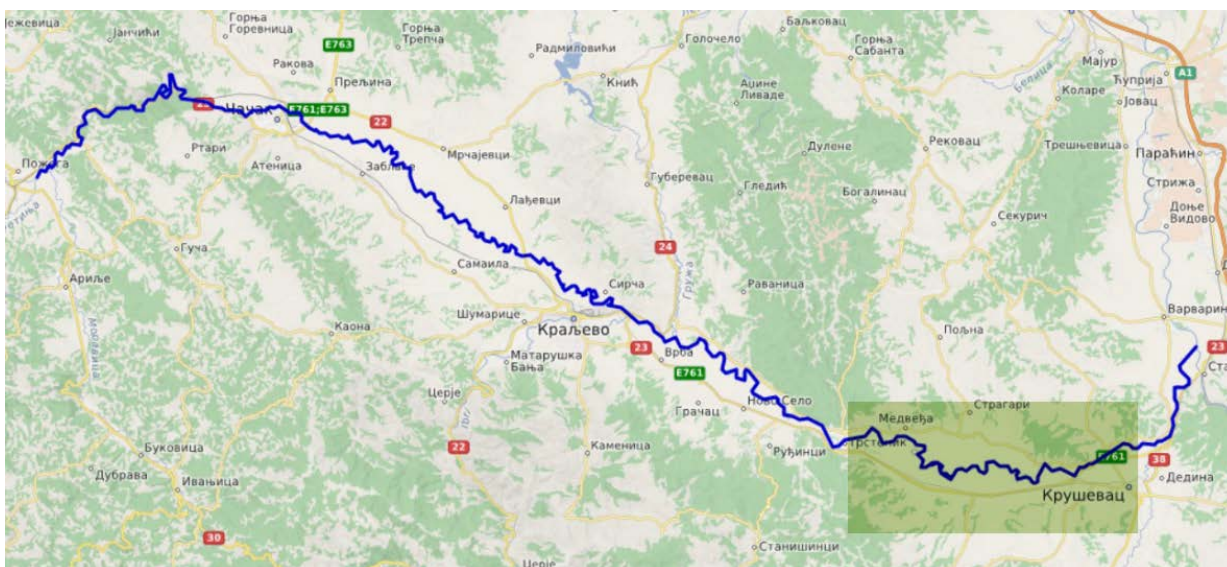
Fluvijalna erozija може имати различите размере. Посебно је изражена у периоду великих вода када се њен утицај огледа у изменjenoj морфологији речног корита.

Интензивниране атмосферске падавине доводе до два паралелна процеса - површински отицај и спирање тла, услед чега долази до настанка великих вода и ерозионе продукције наноса. Ерозија има за последицу негативне утицаје на окружење и инфраструктуру. Најчешће погођени објекти услед утицаја ерозије су мостови, путеви и зграде које се налазе дуљ обала. Ерозија такође доводи до повећане продукције наноса у рекaма и акумулацијама, што може имати негативан утицај на квалитет воде.

Јасно је да последице овог природног процеса могу угрожити животе људи те је неопходно и важно управљати ерозијом у рекaма да би се минимизирали њени негативни утицаји на људске заједнице и инфраструктуру. [1]

Предмет овог рада је анализа наноса који се јавља услед великих вода и изазива деформацију речног корита.

Анализирана деоника реке Западне Мораве припада низводнијем делу слива и средњем току реке, између профила на км 55+465.9 (најузводнији) и профила на км 17+283.88 (најнизводнији). Овај део слива карактерише изражена хетерогеност рељефних и геолошких формација [2]. Сprovedена анализа предметне деонике израђена је у сврху одређивања неопходних регулационих мера ради спречавања еродирања речног дна и одржавања стабилног водног режима реке, чиме ће се избећи предходно наведени проблеми, тј. од HS Trstenik до HS Jasika (Слика 1).



Слика 1 – Анализирана деоника реке Западне Мораве

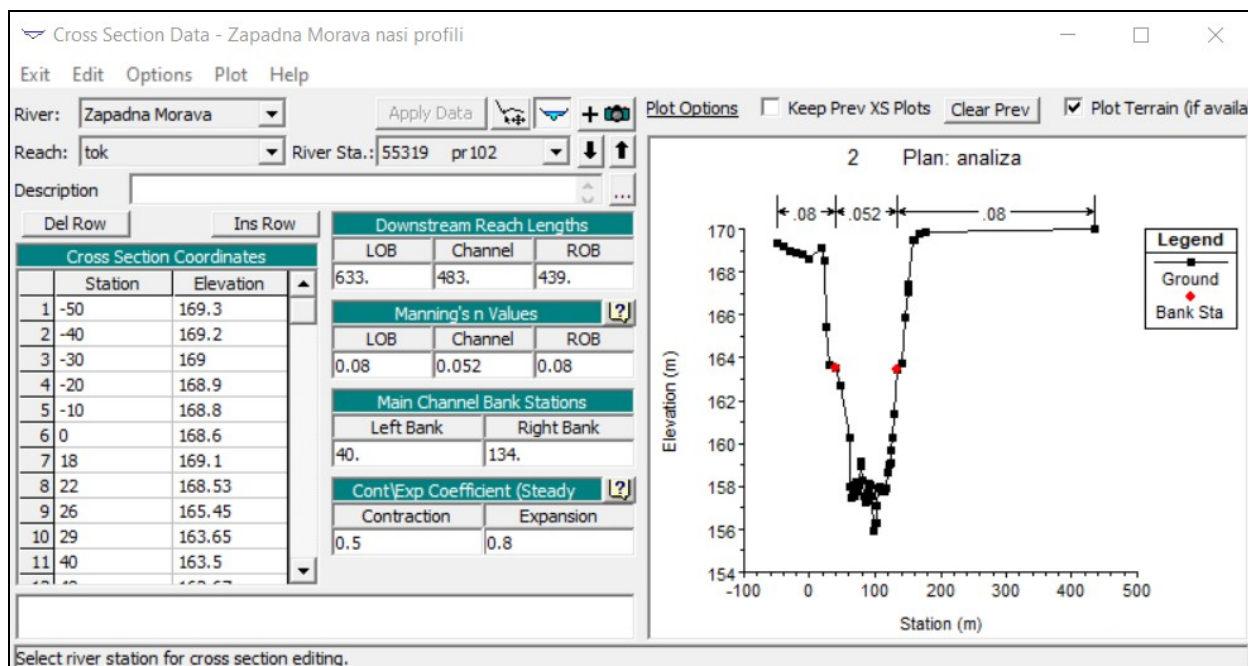
2 ULAZNI PODACI

2.1 MORFOLOŠKI PODACI

Од морфолошких података изабрано је 83 попречна профила који су снимљени на просечном растојању од 500m. Приказани профил на Сlici 2. се односи на HS Trstenik (профил 102, стационажа км 55+319), и садржи све потребне податке на основу којих се потпуно дефинише геометрија речног неопходна за хидрауличке и псамолошке прорачуне.

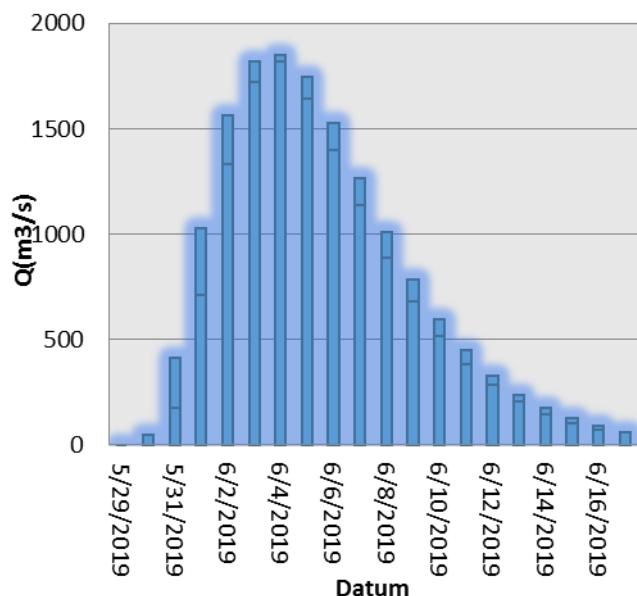
2.2 GRANIČNI USLOVI

У хидрауличким и псамолошким моделима кључни корак је избор исправаног смера прорачуна (у зависности од режима течења) а потом задаванје адекватаног граничног услова. Како је хидраулички прорачун сprovedен у условима квази нестационарног струјања потребно је задати узводни гранични услов који је у овом раду дефинисан преко хидрограма отицаја и низводни гранични услов који је дефинисан преко криве протока.



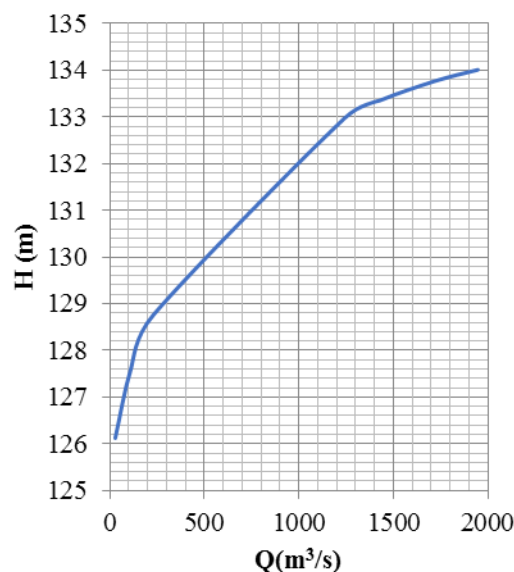
Slika 2 – Prikaz poprečnog profila 102 u geometrijskom modulu programa HEC-RAS

Hidrogram je definisan na osnovu podataka na HS Trstenik. Za proračune kvazi nestacionarnog strujanja korišćeni su podaci merenih proticaja u periodu od 29.05.2019.god. do 17.06.2019.god., sa vremenskim intervalom od 12h. Tako je definisan hidrogram sa svim elementima Q, W i T (pikom, zapreminom i bazom, respektivno) i prikazan na Slici 3.



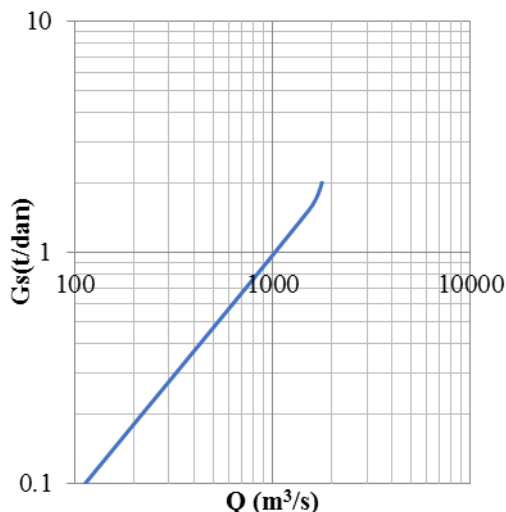
Slika 3 – Hidrogram oticaja na HS Trstenik

Kriva protoka pokazuje odnos između nivoa vode i proticaja reke (Slika 3). Definisana je srednja kriva na profilu HS Jasika.



Slika 4 – Kriva protoka na profilu HS Jasika

Kriva zavisnosti nanosa od protoka (Slika 5) je uvek dobar izbor za definisanje uzvodnog graničnog uslova pri psamološkim proračunima [3] i ako je jako teško odrediti tu zavisnost. Naime, količine nanosa zapravo zavise od broja bujičnog dotoka a ne od veličine protoka [4]. Prikazana kriva je kalibrisana na osnovu merenja iz 2007. godine [5]. Korišćeni su podaci o srednjim, $Q_{sr}=103,501 \text{ m}^3/\text{s}$, i velikim vodama, $Q_{2\%}=1536 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{1\%}=1781 \text{ m}^3/\text{s}$ na HS Trstenik.

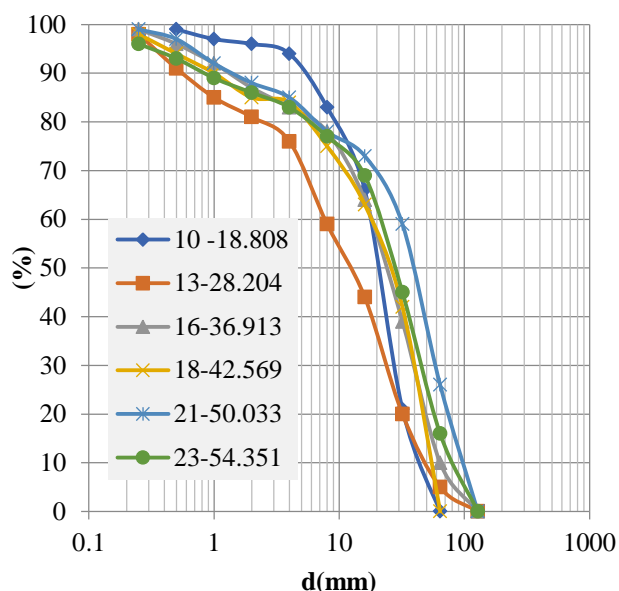


Slika 5 – Krivazavisnosti nanosa od protoka nanosa

2.3 PSAMOLOŠKE PODLOGE

Psamološke podloge (podaci o nanosu) prikazane su u obliku granulometrijskih krivih i promena granulometrijskog sastava nanosa duž vodotoka, koje su potrebne za proračun transportnog kapaciteta za vučeni i suspendovani nanos.

Krive granulometrijskog sastava koje su očitavane za potrebe ove analize definisane su na stacionažama km18+808, km28+204, km36+913, km42+569, km50+033, km54+351, (Slika 6) pri čemu svaka od njih predstavlja reprezentativnu krivu za profile koji se nalaze nizvodno od nje.



Slika 6 – Granulometrijske krive nanosa [4]

3 MODELIRANJE U HEC-RASU

HEC-RAS je program koji koristi 1D i 2D modele u uslovima ustaljenog, neustaljenog ili kvazi nestacionarnog strujanja vode u otvorenim vodotocima [2]. Program može da obrađuje složene geometrije, uključujući prirodne kanale nepravilnih poprečnih preseka, kao i građevinske objekte poput mostova, preliva, propusta i brana. On takođe uključuje alate za modeliranje transporta nanosa i kvaliteta vode [6]. Analiza pronosa nanosa i deformacije rečnog korita je urađena u verziji 6.1.0.

U prvom koraku podešava se geometrija za hidraulički proračun u uslovima kvazi nestacionarnog strujanja. Ovakva geometrija se potom u psamološkom modelu mora prilagoditi zakonitostima kretanja nanosa i obično zahteva njeno uprošćavanje.

Za potrebe proračuna transporta nanosa i opšte deformacije rečnog korita korišćene su dve kombinacije jednačina za proračune, čiji izbor inače predstavlja veliki problem projektantima i istraživačima [7]:

- Varijanta I - Mayer-Peter-Milera (transport vučenog nanosa) i formula Toffaleti (brzina tonjenja čestice nanosa).
- Varijanta II – Toffaleti (pronos vučenog nanosa) i formula Van-Rijna (brzina tonjenja čestice nanosa).

3.1 TRANSPORTNE FUNKCIJE

3.1.1 MPM

Empirijska jednačina koja daje dobre rezultate na našim aluvijalnim vodotocima. Koristi pristup definisanja uslova pokretanja nanosa preko kritičnog tangencijalnog napona, τ_{kr} preko izraza (1) [8].

$$\frac{\tau_{kr}}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d} \approx const \approx 0,047 \quad (1)$$

Gde je:

ρ_s - gustina nanosa = 2650 (kg/m³),

ρ - gustina vode (kg/m³),

g – gravitaciono ubrzanje (m/s²),

d – srednji prečnik zrna nanosa (m).

Na osnovu zavisnosti između intenziteta transporta i Šildsovog broja, dobijena je jednačina za pronos vučenog nanosa (2), g_v (kg/ms):

$$g_v = C_{mp}(\tau_0 - \tau_{kr})^{3/2} \quad (2)$$

Gde je:

τ_{kr} – kritični tangencijalni napon (kN/m²),

τ_0 – vučna sila toka koja se računa iz izraza (3):

$$\tau_0 = \left(\frac{n_r}{n}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{Q_s}{Q}\right) \cdot \rho \cdot g \cdot \bar{h} \cdot J_e \quad (3)$$

n_r – koeficijent rapavosti koji se računa:

$$n_r = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} \quad (4)$$

n – koeficijent rapavosti po Manningu (m^{-1/3} s),

Q_s – protok koji utiče na transport nanosa (m³/s),

\bar{h} – srednja dubina (m),

J_e – pad linlinije energije

C_{mp} računa se iz izraza (5) [9]:

$$C_{mp} = \frac{a^{-3/2}}{g\sqrt{\rho}} \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_s - \rho}\right) \quad (5)$$

3.1.2 Toffaleti

Toffaleti [10] daje potpuno drugačiji pristup proračunu pronosa nanosa u odnosu na pristupe koji posmatraju uticaj vučne sile toka na česticu nanosa (kao kod jednačine MPM). Posebno je pogodna za proračun aluvijalnih vodotokova sa peskovitim dnom zato što se transport nanosa procenjuje na osnovu efekata tečenja na udeo suspendovanog i vučenog nanosa [11].

Tofaleti deli vodeni stub na četiri vertikalne zone i izračunava koncentraciju svake zone jednostavnom aproksimacijom. Funkcija zatim izračunava transport u svakoj od zona na osnovu referentnog jediničnog pronosa nanosa“ M_i , [12]

$$M_i = \frac{G_{ss}(1+n_v-0,756z_i)}{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-0,76z_i} - (2d_{si})^{1+n_v-0,76z_i}} \quad (6)$$

$$z_i = \frac{\omega V}{(260,67 - 0,667)rS} \quad (7)$$

$$n_v = 0,1198 - 0,000048T \quad (8)$$

Gde je:

T – temperatura,

V - je 1D prosečna brzina vode po dubini,

r - puna prosečna dubina vode,

S - nagib reke,

d_{si} - veličina čestica zrna “ i ”,

w_i - brzina tonjenja određene klase zrna “ i ”

p_i - je frakcija te klase zrna,

3.2 BRZINA TONJENJA ČESTICE

3.2.1 Toffaleti

Toffaleti predstavlja tabelu brzina tonjenja čestica sa faktorom oblika od 0,9 i specifičnom težinom od 2,65. Toffaletijeve brzine su predstavljene u tabeli 12-6 u [11].

3.2.2 Van Rijn

Za određivanje brzine tonjenja pojedinačne čestice u mirnoj vodi neograničene zapremine, mogu se koristiti približni obrasci pored nomograma i tabela. U ovom radu korišćen je Van Rijnov obrazac [9]:

$$W = \begin{cases} g \cdot \Delta \cdot d^2 / (18v) & : 1 < d < 10^2 \mu m \\ \frac{10v}{d} \left[\left(1 + \frac{0,0 \cdot g \cdot \Delta \cdot d^3}{v^2} \right)^{-0,5} - 1 \right] & : 10^2 < d < 10^3 \mu m \\ 1,1(g \cdot \Delta \cdot d)^{0,5} & : d > 10^3 \mu m \end{cases} \quad (9)$$

Gde je:

Δ – relativna gustina,

d – srednja krupnoća suspendovanog nanosa,

v – kinematski koeficijent viskoziteta.

3.4 DEFORMACIJA REČNOG KORITA

Opšta deformacija rečnog korita nastaje usled prirodnog uzajamnog dejstva rečnog toka i rečnog korita, na dužoj rečnoj deonici, ali i usled antropogenog dejstva prilikom izmena morfologije i/ili režima nanosa. Može se zaključiti da je deformacija posledica skupa uticaja.

Na deonici između uzvodnog profila (i) i nizvodnog profila (i+1) se, na osnovu razlike ulaza i izlaza nanosa u određenom periodu vremena, računa promena kote dna (Δz_i) [1]:

$$\Delta z_i = \frac{(g_{s,i} - g_{s,i+1}) + (g_{b,i} - g_{b,i+1})}{\Delta x_i g \rho_s} \quad (10)$$

Gde je:

g_s – pronos suspendovanog nanosa (kg/s),

g_b – pronos vučenog nanosa (kg/s),

Δx – dužina deonice (m),

Δt – period za koji se računa deformacija korita.

Ako su količine nanosa koje ulaze na rečnu deonicu veće od izlaznih, rečno korito se zasipa i deformacija ima pozitivan znak, smanjuje se proticajni profil. U suprotnom se korito erodira i deformacija ima negativan znak, korito povećava proticajnu površinu.

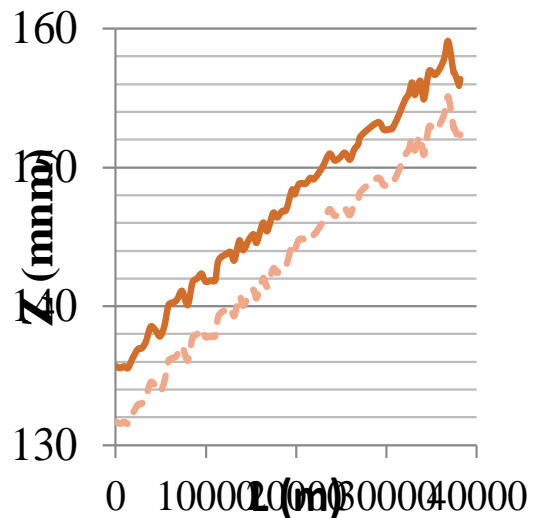
Opšta deformacija korita u zonama mostova javlja se kao posledica smanjenja proticajnog profila za velike vode. Ovaj vid opšte deformacije prolazi kroz ciklične promene – erozija je izražena tokom velikih voda, dok se korito zasipa u periodu malih voda. [1]

4 REZULTATI I DISKUSIJA

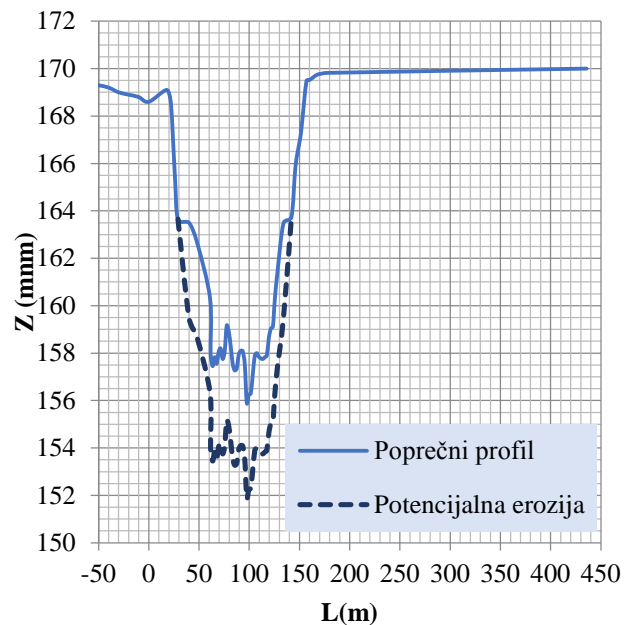
Na osnovu proračuna, primenom varijanti iz poglavlja 3 dobijeni su rezultati, koji će u nastavku biti prikazani u vidu dijagrama, slika i tabela. Na Slikama 7. i 8. punom linijom prikazano je rečno dno dok je isprekidanom tačkastom linijom prikazano rečno dno nakon pretpostavljene potencijalne erozije. Pretpostavljena dubina erozije je 4m.

Računski inkrement promene rečnog dna u posmatranom vremenskom intervalu, na uzvodnom i nizvodnom profilu mosta u Trsteniku (km 54+786 i 54+772.9) prikazan je na slikama 9 i 10 za varijante I i II proračuna respektivno.

Rečno dno na uzvodnom profilu mosta u Trsteniku, primenom jednačina MPM-Toffaleti, ukazuje na zasipanje korita nanosom, dok primenom jednačina Toffaleti – Van Rijn, pokazuje blagu eroziju dna korita. Na osnovu dobijenih rezultata, poređenjem varijanti na Slikama 9 i 10 uočava se da metoda MPM-Toffaleti daje realnije vrednosti. Nizvodni profil Trsteničkog mosta, primenom obe kombinacije jednačina, ukazuje na erodiranje dna rečnog korita.



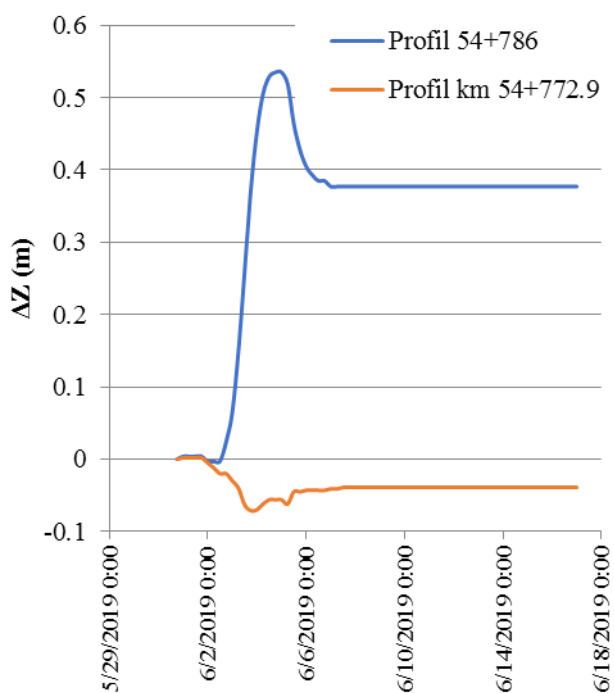
Slika 7 – Podužni profil razmatrane deonice sa pretpostavljenom dubinom erozije za obe varijante



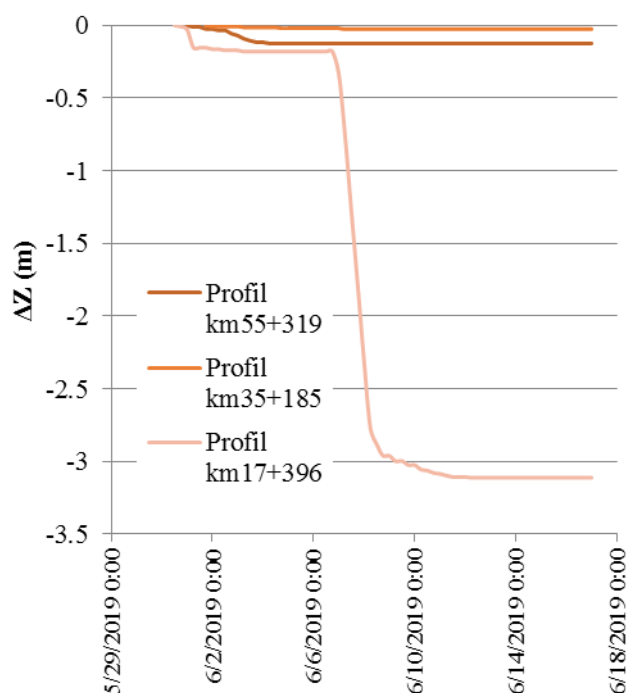
Slika 8 – Poprečni profil (km 55+319) sa pretpostavljenom zonom erozije

Promena rečnog dna u posmatranom vremenskom intervalu, na uzvodnom, srednjem i nizvodnom profilu koji su definisani apsolutnim stacionažama prikazana je na Slikama 11 i 12 za varijante I i II proračuna respektivno.

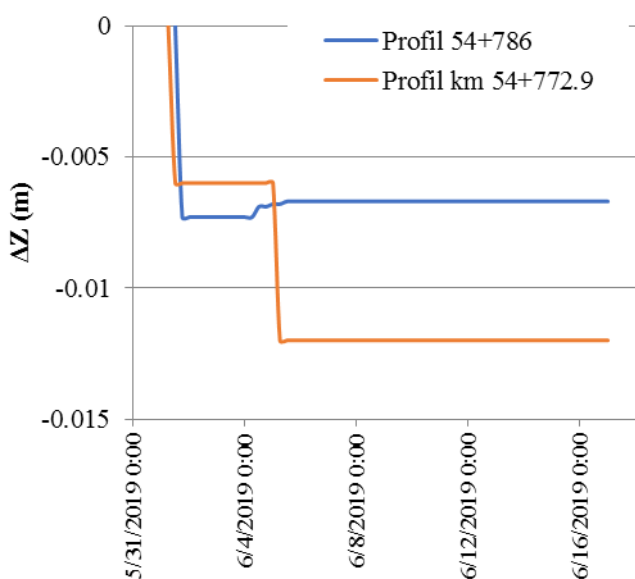
Na osnovu dobijenih rezultata, poređenjem varijanti, na slikama 11 i 12 konstatuje se da Toffaleti-Van Rijn daje realnu sliku deformacije.



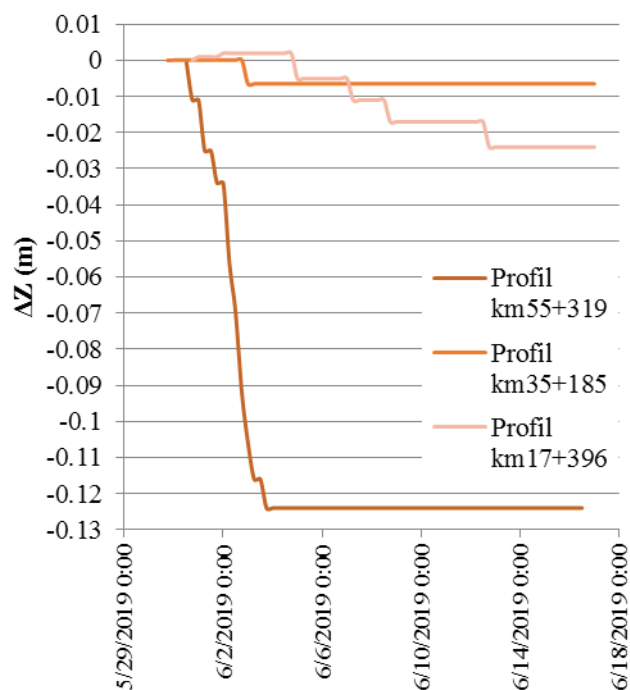
Slika 9 – Inrement promene rečnog dna (MPM-Toffaleti)



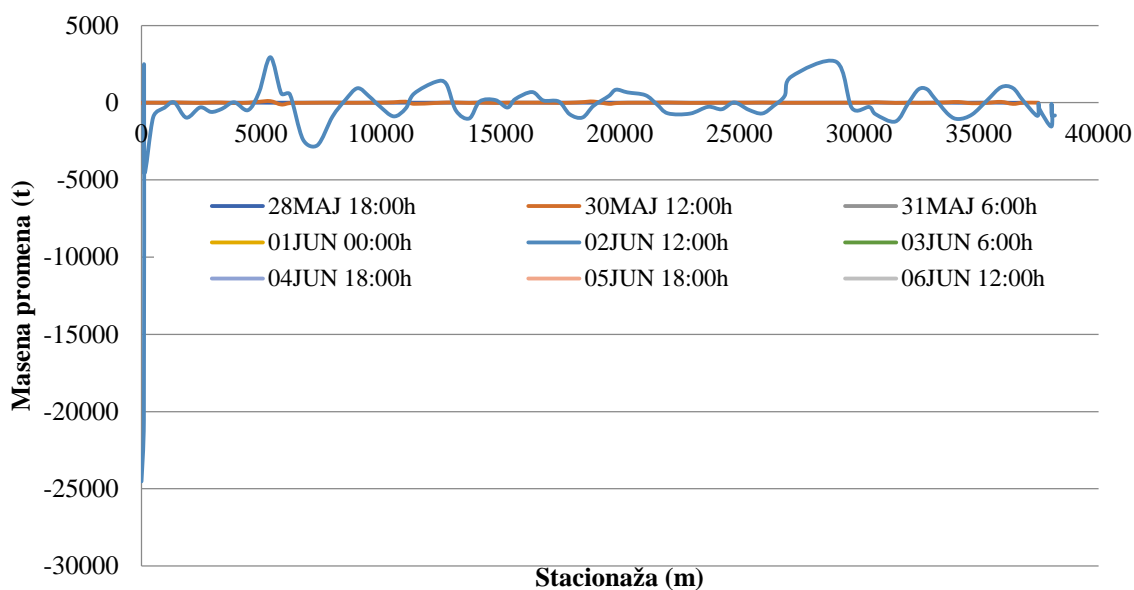
Slika 11 – Deformacija rečnog dna (MPM-Toffaleti)



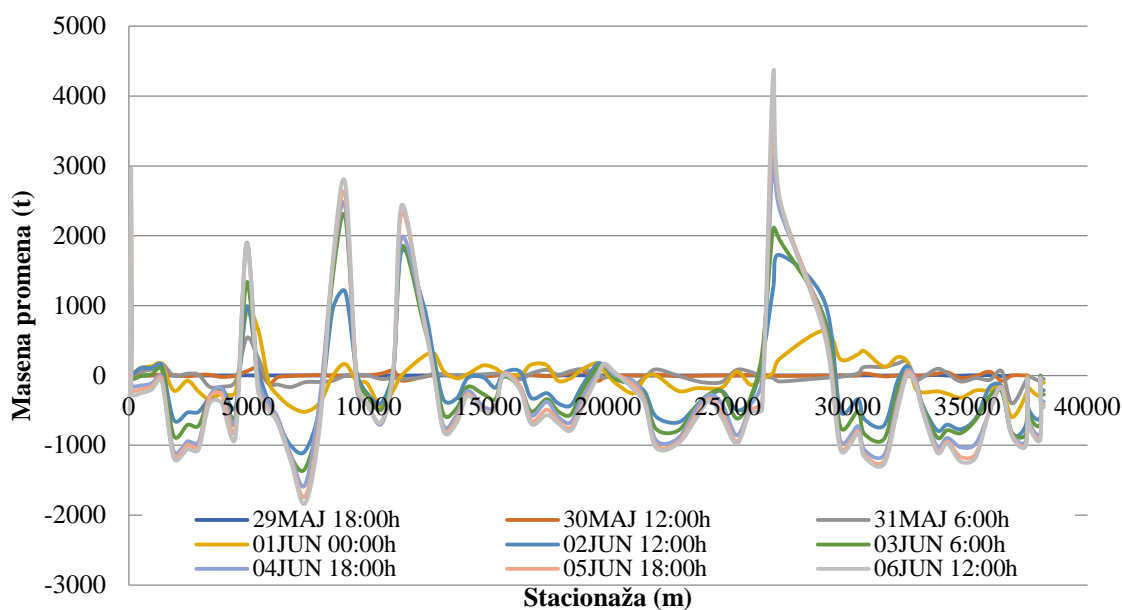
Slika 10 – Inrement promene rečnog dna (Toffaleti-Van Rijn)



Slika 12 – Deformacija rečnog dna (Toffaleti-Van Rijn)



Slika 13 – Hronologija promene dna rečnog korita (MPM-Toffaleti)



Slika 14 – Hronologija promene dna rečnog korita (Toffaleti-Van Rijn)

Transportni kapacitet vodotoka za nanos na razmatranoj deonici Zapadne Morave prikazan je na podužnim profilima (Slike 13 i 14) za varijante I i II proračuna, respektivno.

Na osnovu dobijenih rezultata, poređenjem varijanti, na slikama 13 i 14 može se konstatovati da

varijanta I daje realnije i očekivane rezultate. U tabelama 1 i 2 prikazani su karakteristični profili za ocenu stanja rečnog korita u karakterističnim vremenskim presecima.

Tabela 1 - Vrednosti hidroloških parametara po MPM – Toffaleti

Stacionaža	Datum	Q	Z _{dna}	Z _Q	I _e	V	A	B	Fr	τ
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)		(N/m ²)
28672 pr55	29May2019 1200	0.33	143.29	143.4	0.0804	0.69	0.48	10.72	1.04	35.29
28672 pr55	04Jun2019 0000	1848.8	143.3	149.51	0.0003	0.78	4523.1	3410.2	0.12	10.09
28672 pr55	16Jun2019 1200	74.66	143.31	145.22	0.0011	0.73	102.8	86.79	0.21	13.24
51434 pr95	29May2019 1200	0.33	154.92	156.35	0	0.01	33.8	52.12	0	0
51434 pr95	04Jun2019 0000	1848.8	154.89	163.91	0.001	2.2	1288	321.4	0.26	67.06
51434 pr95	16Jun2019 1200	74.66	154.88	158.39	0.0002	0.46	162.58	67.67	0.09	4.2
17283.88	29May2019 1200	0.33	135.65	135.83	0.0522	0.8	0.41	6.52	1.02	32.14
17284.88	04Jun2019 0000	1848.5	131.65	136.29	0.0134	6.15	300.66	77.95	1	485.54
17285.88	16Jun2019 1200	74.66	131.65	132.63	0.024	2.36	31.66	55.49	1	133.57

Tabela 2 - Vrednosti hidroloških parametara po Toffaleti – Van Rijn

Stacionaža	Datum	Q	Z _{dna}	Z _Q	I _e	V	A	B	Fr	τ
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)		(N/m ²)
28672 pr55	29May2019 1200	0.33	143.29	143.4	0.0804	0.69	0.48	10.72	1.04	35.29
28672 pr55	04Jun2019 0000	1848.8	143.3	149.21	0.0004	0.91	3913.7	3335.6	0.15	14.37
28672 pr55	16Jun2019 1200	74.66	143.3	145.22	0.0011	0.72	103.53	86.87	0.21	13.03
51434 pr95	29May2019 1200	0.33	154.92	156.35	0	0.01	33.8	52.12	0	0
51434 pr95	04Jun2019 0000	1848.8	154.91	163.91	0.001	2.2	1287.1	321.39	0.26	67.22
51434 pr95	16Jun2019 1200	74.66	154.91	158.39	0.0002	0.47	160.53	67.59	0.1	4.32
17283.88	29May2019 1200	0.33	135.65	135.83	0.0522	0.8	0.41	6.52	1.02	32.14
17284.88	04Jun2019 0000	1848.8	135.63	140.15	0.0138	5.57	331.91	104.91	1	421.53
17285.88	16Jun2019 1200	74.66	135.45	136.42	0.0243	2.36	31.58	55.67	1	134.33

Na osnovu primenjenih varijanti analiza, profil na stacionaži km 28+672 predstavlja stabilan profil i u pogledu režima vode i u pogledu režima nanosa te regulacione mere nisu potrebne. Slične rezultate pokazuje i profil na km 51+434, dok se na profilu na stacionaži km 17+283.88 (nizvodni profil mosta u Jasici) uočava buran režim (Tabele 1 i 2), što znači da je regulacija ovog dela vodotoka neophodna u cilju stabilizacije rečnog korita a samim tim i konstrukcije mosta.

Kako obe metode proračuna ukazuju na pojavu erozije dna na ovom profilu (Slike 14 i 15), regulaciona mera u ovom slučaju podrazumeva kontrolu brzine toka i dubine vode.

Postavljanje rečnog praga nizvodno od mosta sprovodi se iz navedenih razloga, a za posledicu ima sprečavanje dalje erozije korita i zasipanje nastale depresije.

5 ZAKLJUČAK

Pod uređenjem prirodnog vodotoka podrazumeva se proces primene planskih aktivnosti na izmeni trase, karakteristika rečnog korita ili režima toka kojima se [1]:

- planski smanjuju štete od poplava i drugih nepovoljnih procesa na vodotoku,

- obezbeđuju uslovi za racionalno korišćenje vodotoka za plovidbu, vodosnabdevanje, hidroenergetiku, hidromelioracije, rekreaciju i druge potrebe,
- štiti i unapređuje životna sredina.

Specifičnost uređenja prirodnih vodotoka kao hidrotehničke discipline je u tome što posle izvođenja radova sledi odgovor prirode, koji pokazuje stepen uspešnosti projektovanih i izvedenih radova.

Istraživanje [13] pokazuje da hidrauličko oblikovanje rečnog korita ima značajan uticaj na eroziju i/ili istaložavanje nanosa. Narušavanje prirodnog režima vodotoka, radovima u koritu ima za posledicu pokretanje morfoloških procesa koji će se dešavati sve dok se ne uspostavi novo ravnotežno stanje. Rešavanje problema u ovoj oblasti hidrotehnike zahteva znanje, iskustvo, inženjersku intuiciju, a obavezno je korišćenje poznatih saznanja iz brojnih naučnih disciplina kao što su: mehanika fluida, statistika, hidraulika, hidrologija, geologija, geodezija i mehanika tla.

Kako regulacione radove po pravilu karakteriše veliki utrošak materijala, radne snage i energije, određivanje optimalnih regulacionih elemenata je jedan od osnovnih ciljeva u izradi projekta uređenja vodotoka. Takođe, regulacione elemente treba definisati tako da se u što manjoj meri narušava životna sredina.

Ovom analizom utvrđena je mera regulacije postavljanja praga na profilu koji se nalazi nizvodno od mosta, radi regulisanja režima tečenja a samim tim i sprečavanja potencijalne erozije dna. Osim ove mere, treba imati u vidu da konkavne obale treba uvek štiti obaloutvrdama kako ne bi došlo do pojave erodiranja i urušavanja obale krivine.

U izboru regulacionih elemenata se koristi više pristupa, zavisno od cilja koji treba postići radovima.

Upoređujući primenjene varijante analiza može se zaključiti da metoda MPM-Toffaleti daje rezultate bliže realnom stanju.

U osnovi svih pristupa stoji princip da se regulacionim merama ne može postići ništa što je suprotno prirodi vodotoka, ukoliko se suštinski ne menja prirodni režim.

Ovim radom je utvrđena preciznija metodologija simulacije morfoloških procesa kao i regulacione mere na lokacijama gde su neophodne radi stabilizacije korita i održavanja prirodnog režima vodotoka.

LITERATURA

- [1] Babić Mladenović Marina: **Uređenje vodotoka.** Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 2018.
- [2] Ilić Aleksandra, Ilić Ilija, Radivojević Dragan, Radivojević Borko: **River training works with the aim of fluvial processes control through the sediment transport and deformation of the river bed analysis.** *The International Conference Synergy of Architecture & Civil Engineering SINARG, Proceedings Volume 2*, Faculty of Civil Engineering and Architecture Niš and Serbian Academy of Sciences and Arts – Branch Niš, pp. 701-712, 2023.
- [3] Asselman N.E.M.: **Fitting and interpretation of sediment rating curves.** *Journal of Hydrology*, Volume 234, Issues 3–4, Pages 228-248, ISSN 0022-1694, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00253-5).
- [4] Petković Slobodan, Ljuljić Milanko: **Sedimentation of small reservoir on a torrent stream.** *Voda i sanitarna tehnika*, XL(2) 31-46, 2010.
- [5] Babić Mladenović Marina, Dimkić Milan: **Generalni projekat uređenja Zapadne Morave.** Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 2008.
- [6] USACE Hydrologic Engineering Center: **1D Sediment Transport User's Manual.** v. 6.0, 2023.
- [7] Lazović Nerma, Hadžić Emina: **Odabir metode za pronos nanosa u proračunu opšte deformacije reke Željeznice.** *Vodoprivreda*, 0350-0519, Vol. 50, No. 291-293, p.145-155, 2018.
- [8] Meyer-Peter, E., Muller, R.: **Formulas for Bed Load Transport.** *Proceedings of 2nd meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research*, Delft, pp. 39-64, 7 June 1948.
- [9] Jovanović Miodrag: **Regulacija reka.** *Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu*, Beograd, 2008.
- [10] Toffaleti Fred B.: **A Procedure for computation of total river sand discharge and detailed distribution, bed to surface.** *Technical Report No. 5*, Committee on Channel Stabilization, U.S. Army Corps of Engineers, 1968.
- [11] Haschenburger J. K. Curran Joanna: **Sediment Transport Modeling of Reach Scale Geomorphic Processes.** *Final Report for TWDB*, Contract No 0904830899, 2012.
- [12] USACE Hydrologic Engineering Center: **1D Sediment Transport Technical Reference.** v. 6.0, 2023.
- [13] Radivojević Borko, Radivojević Dragan, Ilić Aleksandra: **Uticaj hidrauličkog oblikovanja korita reke Nišave u Nišu na režim pronosa i istaložavanja nanosa.** *Zbornik radova Građevinsko-Arhitektonskog fakulteta*, br. 37, str. 25-36, 2022.