doc. dr. Primož BANOVEC*

Staša VOŠNJAK*

ANALIZA HIDRAVLIČNIH RAZMER REKE LEDAVE NA OBMOČJU AVTOCESTNEGA ODSEKA BELTINCI – LENDAVA

Povzetek:

V prispevku so prikazani rezultati raziskav poplavnih tokov reke Ledave na vplivnem območju predvidenega AC odseka Beltinci – Lendava. Zaradi ravninske morfologije in reke v nasipu sta bila zato uporabljena enodimenzijski matematični model (stalni in nestalni tok) ter dvodimenzijski matematični model za preračun hidravlike.
Poplave s povratno dobo 100 let so analizirane tako, da je najprej izveden enodimenzijski račun hidravlike korita reke Ledave, ki omogoča določitev lokacij možnih prelitij in posledično prebojev visokovodnih nasipov. Nadalje so z dvodimenzijskim hidravličnim modelom analizirane razmere na lokaciji simuliranega preboja nasipa. Na področju inundacijskega toka od desnem bregu reke Ledave pa je izveden še enodimenzijski račun poplavnega vala z nestalnim tokom.
KLJUČNE BESEDE: Ledava, matematični model, HEC-RAS, poplavna varnost

UVOD

Določitev poplavnih tokov v primeru kompleksnih hidrotehničnih ureditev, ko se pojavi razcep vodnega toka predstavlja enega težjih izzivov za hidrotehnično stroko. Ravno določitev razvejanih poplavnih tokov na obravnavanem odseku reke Ledave je bila osnovni namen obravnavane naloge, pri čemer je bil pristop k modeliranju določen glede na specifični namen – določitev vpliva poplavnega toka reke Ledave na načrtovano avtocesto na odseku Beltinci – Lendava.
V hidravlični analizi je bilo zajeto območje dolvodno od zadrževalnika Radmožanci pa do ceste Gančani - Bogojina. Gorvodno od tega odseka reka Ledava ni več v izrazitih nasipih, hkrati pa ravno navedena cesta oz. cestno telo predstavlja pregrado za eventualne manjše inundacijske tokove.

V projektu je bilo potrebno tako določiti obstoječe stanje hidravličnih razmer na obravnavanem odseku, za katerega je bila predhodno že izdelana hidrološka študija. Nadalje je bilo potrebno določiti mehanizem pojavljanja visokih voda na obravnavanem območju tako v osnovni strugi kot tudi izven vodotoka ter rezultirajoče gladine ob različnih pretokih, ki so zajeti v hidrološki študiji.
Z matematičnim modelom, ki je predstavljal kombinacijo enodimenzijskega računa (kanali) in dvodimenzijskega računa (inundacijske površine) je bilo potrebno določiti potek gladin ob različnih hidravličnih obremenitvah (pretoki z različno povratno dobo). Tako je bilo mogoče določiti pričakovane globine na analiziranem območju.

Pri izračunu je bila upoštevana naslednja metodologija:

1) Izračun mejne vrednosti pretoka, pri katerem reka Ledava še ostane v osnovni strugi. Za navedeno mejno vrednost je bila izvedena tudi analiza občutljivosti glede na izbrani koeficient hrapavosti. Mejna vrednost pretoka je bila določena z enodimenzijskim računom.
2) Določitev območij na katerih bi prišlo do prelivanja iz osnovne struge v primeru višjih pretokov (levi breg, desni breg).
3) Določitev preferenčnih območij inundacijskih tokov in opredelitev variantnih inundacijskih tokov (levi breg, desni breg).
4) Določitev robnih pogojev inundacijskih tokov.
5) Izračun hidravlike toka po inundacijskih površinah ob predpostavki prelivanja nasipa (ne pride do porušitve!)

*doc. dr. Primož BANOVEC univ. dipl. ing. gradb., HIDROINŠTITUT – JRZ, Inštitut za hidravlične raziskave Ljubljana, Hajdrihova 28, *Staša VOŠNJAK univ. dipl. ing. gradb., HIDROINŠTITUT – JRZ, Inštitut za hidravlične raziskave Ljubljana, Hajdrihova 28

Tok po inundacijskih površinah je bil izveden z 2D matematičnim hidravličnim modelom. Ker umerjanje modela ni bilo mogoče z meritvami, je bila izvedena analiza občutljivosti na spremenjeni koeficient hrapavosti (3 variante). V primeru daljših odsekov z enakomerno geometrijo, ki odgovarja računu z 1D matematičnim hidravličnim modelom je bilo mogoče hidravliko toka po inundacijskih površinah določiti tudi s kombiniranim modelom (t.i. kvazi 2D model).

Obdelane so bile tudi nujne preferenčne poti razbremenjevanja ki so bile naslednje:

- Razbremenjevanje v profilu P170 (desni breg)
- Razbremenjevanje v km 32+000 (struga male Ledave – desni breg)
- Razbremenjevanje na območju P120-P140 (levi breg)

V nalogi je bila izvedena hidravlična analiza za primer visokih voda s povratno dobo 100 let.

2.0 OPIS STANJA

Reka Ledava na odseku med Mursko Soboto in zadrževalnikom Radmožanjci je hidrotehnični objekt, saj je regulirana in poteka v večjem delu odseka obdana z nasipi na obeh straneh rečne struge.

2.1 Uporabljeni pristop

V nalogi je bila upoštevana hipna popolna porušitev nasipa, kar predstavlja dramatično povečanje pretokov po inundacijskih površinah. Ob terenskem ogledu je bilo sicer ugotovljeno, da so nasipi v večini primerov dobro preraščeni s travno rušo, ki bi lahko nudila soliden odpor proti eroziji v primeru nižjega, kratkotrajnejšega prelivanja. Ker pa natančni podatki o mehanizmu rušenja nasipov niso bili razpoložljivi, je bila upoštevana skrajno neugodna varianta mehanizma porušitve, ki je bila nadalje upoštevana pri razlagi rezultatov.

Pomembna upoštevana hipoteza glede načina rušenja nasipov je hkrati predstavljala tudi določitev predpostavke glede dolžine na kateri se zgodi porušitev nasipov. Za ta namen so bile preverjene različne variantne dolžine porušitve in kot najprimernejša z vidika hitrosti vodnega toka na območju porušitve, ki se navezuje na erozijsko rušenje nasipov, je bila določena dolžina porušitve 50 m.

2.2 Matematični model

Za hidravlični izračun so bili uporabljeni naslednji modeli:

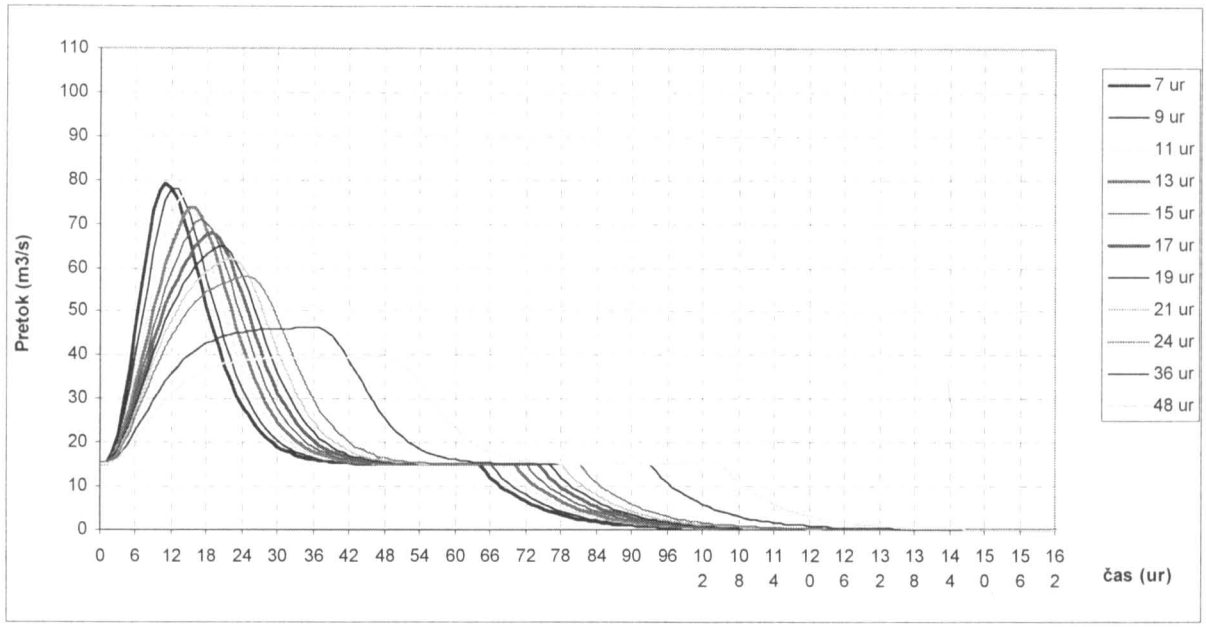
- enodimenzijski matematični model s stalnim tokom – račun prevodnosti osnovne struge reke Ledave – uporabljeno orodje za modelni izračun je bil HEC-RAS 3.2
- enodimenzijski matematični model z nestalnim tokom – račun prevodnosti inundacijskih površin ob reki Ledavi – uporabljeno orodje za modelni izračun je bil HEC-RAS 3.2
- dvodimenzijski matematični model z nestalnim tokom – račun hidravlike preboja nasipov in razcepov – uporabljeno orodje za modelni izračun sta bila programska paketa RMA2 (generacija 2D mreže končnih elementov) in Aquadyn (hidravlični izračun)

2.3 Ovrednotenje in utemeljitev uporabljenih podatkov

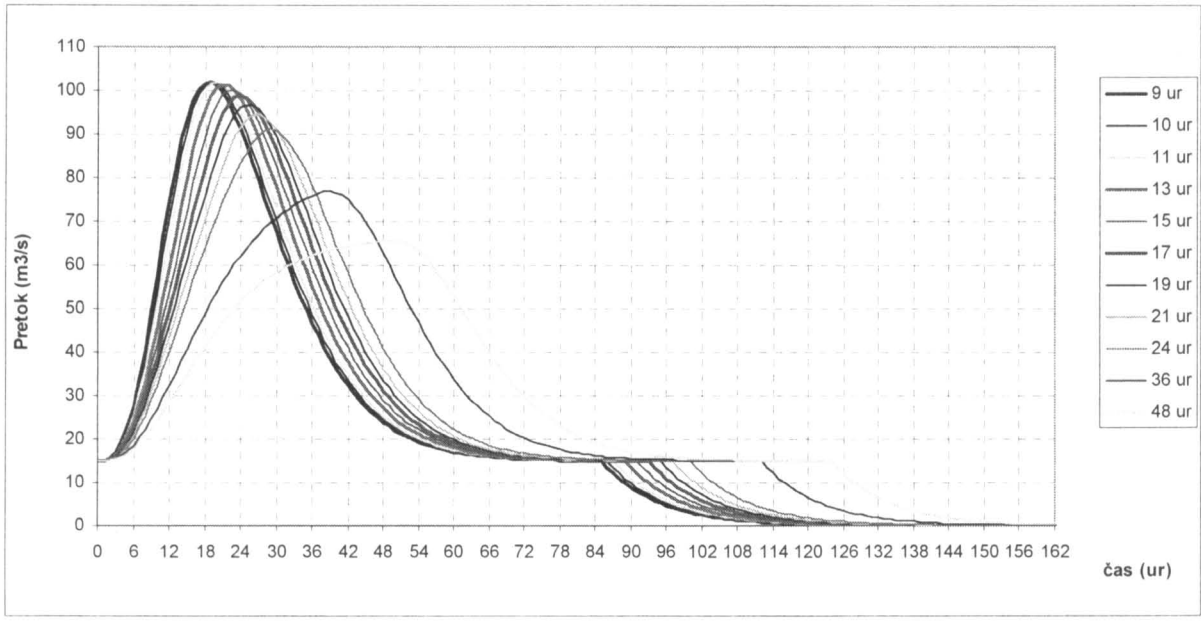
Pri analizi so bili uporabljeni naslednji vhodni podatki za Q_{100}, ki so bili dobljeni na podlagi predhodne hidrološke študije. Visokovodni valovi so bili izvedeni za dva odseka:

- visokovodni valovi za odsek pod Martjanskim potokom do pritoka Lipnice
- visokovodni valovi za odsek od pritoka Lipnice do zadrževalnika Radmožanci.

Visokovodni valovi so podani na naslednjih slikah:



Slika 1: Prikaz visokovodnih valov za Q_{100} za različno trajanje naliva odsek Ledave med Martjanskim potokom in Lipnico



Slika 2: Prikaz visokovodnih valov za Q_{100} za različno trajanje naliva odsek Ledave med dotokom Lipnice in zadrževalnikom Radmožanci

Navedeni podatki, ki opredeljujejo pretoke s povratno dobo 100 let so bili uporabljeni tako pri izračunu hidravlične prevodnosti osnovne struge reke Ledave (upoštevani ng = 0.035), kot tudi pri analiziranih variantah preboja nasipov.

3.0 HIDRAVLIČNI IZRAČUN

V projektu so bile izvedene naslednje hidravlične analize:

- enodimenzijski hidravlični izračun reke Ledave, stalni tok, od profila P1 do profila P180.
  Glede na izvedene hidravlične analize ob spremenljivi hrapavosti je bilo ugotovljeno, da pri hrapavosti ng = 0.035 pride pri analiziranem pretoku Q_{100} do prelivanja nasipov na več potencialnih lokacijah. Rezultati modela so bili zato uporabljeni predvsem za določitev lokacije prelivanja in izbor variant kot sledijo:

Variante prebojev nasipa:

- Varianta 1 - preboj nasipa na območju profilov P174 – 177 mala inundacijska površina (desni breg)
- Varianta 1b – preboj nasipa na območju profilov P174 – 177 velika inundacijska površina (desni breg). Namen analize s povečano poplavno površino je pridobiti odgovor na vprašanje o širjenju poplavnega vala (globine) na obodu analiziranega območja, saj je inundacijska površina na tem območju brez izrazitejšega nagiba terena.
- Varianta 2 - preboj nasipa na območju profilov P117 – P120 (levi breg)
- Varianta 3 – preboj nasipa na območju profilov P117 – P120 (desni breg)
- Varianta 4 – preboj nasipa na območju profilov P79 – P82 (desni breg)

Namen analiziranih variant je bila zlasti opredelitev mehanizma preboja nasipa z razdelitvijo pretokov na pretok, ki ostane v osnovni strugi, ter na pretok, ki se razliva na poplavljene površine skozi preboj.

Vse variante so bile narejene po naslednjem postopku izračuna:

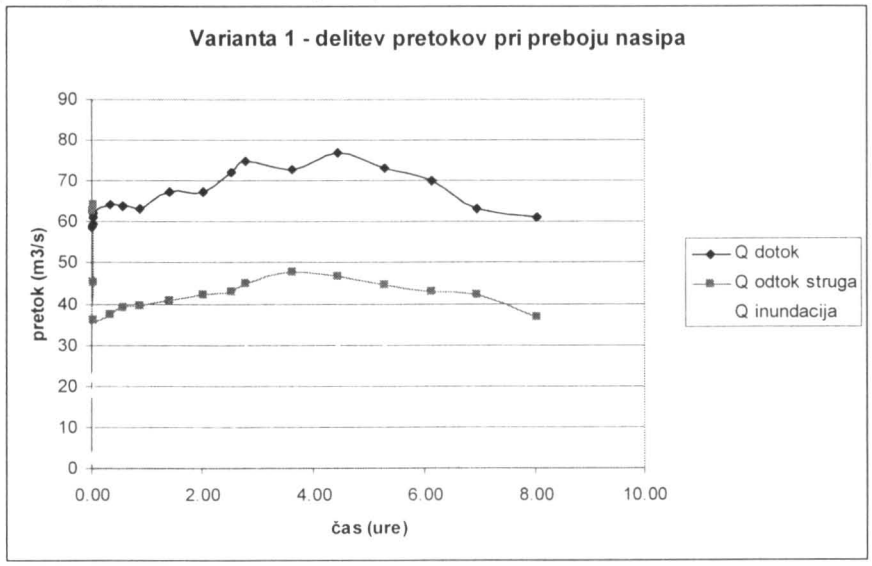
a) Opredelitev geometrije obravnavanega odseka v 2D modelnem orodju z metodo končnih elementov,

b) Izvedba računov za stalni enakomerni tok s prosto gladino za vzpostavitev začetnega stanja. Pri tem smo uporabljali maksimalni pretok, ki ga je odsek še sposoben prevajati glede na predhodni izračun z enodimenzijskim matematičnim modelom, za boljšo konvergenco računa z nestalnim tokom smo modelirali tudi minimalni tok po inundacijski površini,

c) Ko so bile začetne razmere dovolj dobro določene smo hipno odstranili del nasipa na dolžini 50 metrov

d) Spodnji robni pogoj na poplavni površini je globina, prilagojena glede na kriterij vzporednosti naklona gladine in naklona dna na tem območju.

V nadaljevanju je prikazan rezultat hidravlične analize primera variante 1 – določitev delitve pretokov med preostalim pretokom, ki še ostane v regulirani strugi reke Ledave ter pretokom, ki se preko preboja preliva na inundacijsko površino.



Slika 3: Prikaz delitve pretokov pri preboju nasipa za varianto 1.

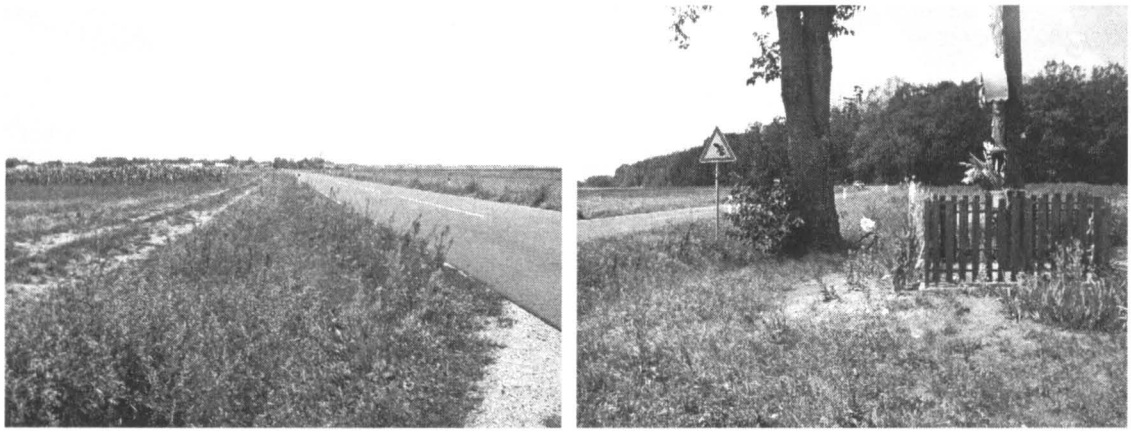
4.0 ZAKLJUČKI IN UGOTOVITVE:

Glede na izvedene obdelave je bilo ugotovljeno, da bi v primeru nastopa visokih voda s povratno dobo 100 let reka Ledava prestopila svoje bregove in tekla tudi po inundacijskih območjih. Obseg prelivanja oziroma pretočna sposobnost reke Ledave je močno odvisen od hidravlične hrapavosti zato je pomembna opredelitev, da je bil pri 1D hidravličnem izračunu za reko Ledavo upoštevan koeficient hrapavosti ng = 0.035.

Glede na razpoložljive podatke je težko določiti natančno lokacijo prelivanja zato so bile analizirane le predhodno navedene lokacije preboja nasipa na desnem bregu in na levem bregu Ledave.

Glede na obdelano varianto in njen potencialni vpliv na AC je bilo ugotovljeno:

Porušitev nasipov na odseku nad dotokom Lipnice (Varianta 1, 1b) je sicer problematična, saj na navedenem odseku ni izrazitega padca dna, ki bi ga mogli identificirati iz razpoložljivih kartografskih podlag (TTN 1:5.000). Ugotovljeno je bilo, da se zaradi relativno kratkega poplavnega vala in velikosti poplavnega območja na obodu tega območja pojavijo le majhne globine. Poleg tega je v smeri širjenja poplavnega vala proti AC še cesta Gančani – Renkovci, ki je delno v nasipu in bi zaradi tega predstavljala znatno prepreko širjenju poplavnega vala proti sami AC. Šele z natančnim geodetskim posnetkom terena na tem območju bi bilo mogoče opredeliti za koliko sega nasip ceste nad koto poplavne gladine.



Slika 4, 5: Cesta Gančani - Renkovci

1) Porušitev nasipov na levem bregu reke Ledave (profil 120 – varianta 2) ni problematična neposredno z vidika obravnavanega avtocestnega odseka, je pa potrebno zaradi tega ustrezno urediti avtocestno prečkanje Radmožanskega zadrževalnika, v katerega se inundacijski tok neposredno izliva. Zato bi lahko bila varovalka v nasipu na levem bregu reke Ledave ena od realnejših možnosti.

2) Porušitev nasipov na desnem bregu reke Ledave (profil 118) predstavlja vhodni hidrogram za inundacijski tok v melioracijsko območje Turnišče. Navedeni tok je bil obdelan tudi z 1D modelom nestalnega toka. Ker je med vasjo Turnišče in regulirano strugo Ledave široka kotlina, ta tok ne doseže telesa AC, razen na samem območju križanja AC z reko Ledavo. Zato je potrebno tam urediti poleg križanja AC z reko Ledavo tudi odprtine, ki bodo zagotavljale poplavni pretok po inundacijski površini. Ker je na območju inundacijskega toka izvedena hidromelioracija, je omogočen odtok visokih voda, pri čemer bi nastopale globine okoli 0.6 m na kmetijskih zemljiščih na tem območju.

Edino oviro na tem inundacijskem toku predstavlja nasip ceste Turnišče – Radmožanci, ki ima prepust urejen le za odvajanje voda z melioracijskega območja. Glede na rezultate hidravličnega izračuna bi poplavni tok prelival navedeni nasip do prelivne višine 0.55 m.

3) Porušitev nasipov na desnem bregu Ledave (profil 79 – varianta 4) je primerljiva z varianto 3, in zato je tudi inundacijski tok, ki bi nastal, primerljiv s sploščenim poplavnim valom iz variante (3).

Druge ugotovitve:

Glede na izvedene obdelave je ugotovljeno, da je struga reke Ledave sorazmerno dobro vzdrževana (košena) ter kot taka zanesljivo zagotavlja pretočne razmere, ki so bile upoštevane v izračunu. Kljub temu so z vidika izboljšanja razmer poplavne varnosti predlagana naslednja priporočila:

1) **Odstranitev ostankov zapornic**, ki so nekoč preusmerjale pretok v Malo Ledavo. Čeprav zapornice same ne predstavljajo večje ovire vodnemu toku (na tem mestu je na razpolago več energije), bi bilo smiselno razmisiliti o njihovi odstranitvi, saj temu navkljub predstavljajo motnjo v vodnemu toku ter predvsem potencialno nevarnost zamašitve.



Slika 6: Ostanki zapornic na vtoku v nekdanjo derivacijo Mala Ledava

2) **Ureditev režima vzdrževanja in varovanja nasipov**, saj je bilo ob terenskem ogledu ugotovljeno, da so na nekaterih odsekih sosednji kmetje z obdelanimi njivami posegli v nasip vse do krone nasipa. To znatno zmanjšuje varnost nasipa, saj bi ga že v primeru minimalnega prelivanja lahko zelo hitro odneslo.



Slika 7: Prikaz neustreznega varovanja nasipov.

3) **Ureditev varovalk v nasipu za vodeno preplavljanje inundacijskih površin** – izvedeni hidravlični izračuni upoštevajo predpostavko hipne porušitve celotnega nasipa, zaradi česar je pretok po osnovni (regulirani) strugi reke Ledave močno zmanjšan (manj kot polovica pretoka pred prebojem nasipa še teče po preboju v osnovni strugi). Če bi ustrezno načrtovali prelivanje nasipa v inundacijske površine bi lahko zagotovili samo eno, načrtovano, prelivno mesto v inundacijsko površino, ki bi ga bilo

mogoče ustrezno utrditi in zavarovati. Na ta način bi po inundacijskih površinah tekel bistveno manjši pretok, zagotovljeno pa bi bilo prevajanje večine pretoka Q_{100} po osnovni, regulirani strugi reke Ledave.

4) Ureditev stanja geodetskih podatkov obravnavanega območja, saj so trenutno na razpolago le karte v merilu 1:25000 in stare karte v merilu 1:5000, ki pa za tako občutljive izračune niso dovolj natančne.