

POMEN NIZKIH PRAGOV OB VISOKIH VODAH

The significance of low thresholds in high waters

Gašper Rak*, Franci Steinman**, Leon Gosar*** UDK 627.43

Povzetek

Pri urejanju hudournikov se za zmanjšanje padca in s tem zmanjšanje prenosa plavin uporablja številne objekte. Z nizkimi pragovi, jezovi in drčami zmanjšamo padec vodotoka nad njimi, s tem pa hitrosti in vlečne sile vode, ki delujejo na rečno dno. Posledično se zmanjša tudi erozijska in prenosna sposobnost vodotoka. Zaradi zmanjšanja padca prihaja lokalno, na samih objektih, do viškov energije vode. Zato mora biti oblika in izvedba objektov takšna, da omogoča disipacijo te energije pri toku vode preko njih ali na čim krajši razdalji dolvodno. Te vrste objekti so učinkoviti praviloma le pri običajnih pretokih, pri visokih vodah pa v povirjih nastanejo erozijski procesi, zato voda s svojo veliko sposobnostjo prenosa ustvari svojo nivoletno padca dna. Zato z nanosom plavin pogosto spremeni jezove in drče v stabilizacijska rebra. Na ta način prelivne višine nizkih pragov ni več, zato se tudi izniči njihov učinek disipacije energije.

Abstract

In the regulation of torrents, numerous structures are used to reduce slope and in this way to reduce the transportation of debris. With low weirs, dams and chutes the slope of the streams above them can be reduced, and in this way the speed and tractive force of the water acting on the riverbed. Consequently there is also a reduction in erosion and the transportation capacity of the stream. Owing to the reduction of slope there are locally, on the actual structures, water energy peaks. For this reason the form and execution of the structure must be such that it enables the dissipation of this energy in the flow of water over it and for the shortest possible distance downstream. Such types of structure are effective generally only in normal discharges, while in the event of high waters in the headwaters erosion processes arise, so the water through its own large transportation capacity creates its own inclination of bottom slope. Thus deposition of sediments often changes dams and chutes into stabilisation ribs. In this way low weirs no longer have an overflow height, so this eliminates their effect of dissipating energy.

Uvod

Številni poplavni dogodki v preteklih letih, ki so pri nas najizrazitejši na hudourniških območjih hribovitega predela zahodne Slovenije, kažejo na obstoječo poplavno nevarnost, ki nastaja zaradi neurejenega odtočnega režima visokih voda, gozdnega nereda v povirjih ali zaradi nesmotrnih in premalo preučениh posegov v prostor. Poleg obilnih padavin in posledično povečanih pretokov na hudourniških območjih poplavno nevarnost dodatno povečujejo še velike količine plavin in plavja, ki se sproščajo na erozijskih žariščih povirij, ki pogosto ostajajo nesanirana. Hudourniški vodotoki imajo zaradi razmeroma velikih padcev že pri običajnih pretokih, posebej pa še pri visokih vodah, velik energijski potencial in posledično veliko sposobnost prenosa plavin in plavja. Ta se odlaga na delih, kjer se lokalno sposobnost prenosa zmanjša ali pretočni prerez onemogoča nadaljevanje poti. Zaradi odlaganja plavin prihaja do zasipanja rečne

struge in zviševanja vodne gladine ter tako do povečane poplavne nevarnosti. Enake posledice ima tudi zmanjševanje ali celo popolno blokiranje pretočnega prereza zaradi »ujetega« plavja na mostovih, prepustih in drugih »ozkih grlih« rečnih korit. V takšnih primerih so zaradi preusmerjanja vodnega toka izpostavljena tudi območja, kjer sicer ni poplavne nevarnosti.

Relativni vpliv prečnih zgradb v vodotoku

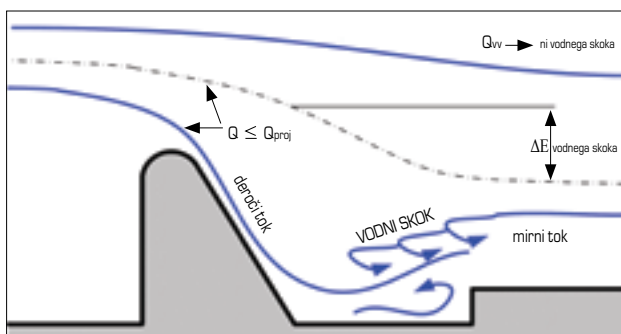
Zmanjševanje energijskega potenciala, erozijske in prenosne sposobnosti je pri običajnih pretokih mogoče z uporabo različnih prečnih zgradb, kakor so jezovi, pragovi, drče ipd. Namen izgradnje omenjenih prečnih zgradb je na odseku med posameznima objektoma zmanjšati padec dna in posledično hitrost in prenosno sposobnost vode. Oblika in izvedba objektov, dimenzionirana na projektni pretok (pretok, na katerega je dimenzioniran v projektu), omogoča disipacijo viška energije pri prelivanju vode preko njih.

Hidrotehnični objekti, ki so namenjeni zadostitvi številnih potreb, so zelo različni. S pregradami ali jezovnimi zgradbami ustvarimo lokalno zajezbo pri običajnih pretokih,

* Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KMTe, Jamova 2, Ljubljana, grak@fgg.uni-lj.si

** prof. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KMTe, Jamova 2, Ljubljana, fsteinma@fgg.uni-lj.si

*** mag., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KMTe, Jamova 2, 1000 Ljubljana, lgosar@fgg.uni-lj.si



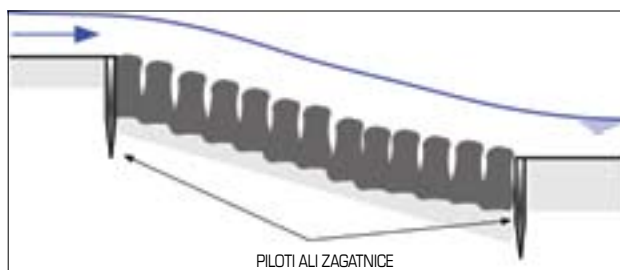
Slika 1. Prikaz razmer na pragu. Pod jezom, v podslaplju poskrbimo, da se voda vrne v režim mirnega toka čim bližje jezu. Na hudournikih se spodnji prag uredi s podpornim jezum.

Figure 1. Conditions at the threshold. Below the dam and after the cascade, efforts are made to ensure that the water returns to a calm flow regime as close as possible to the dam. During flash floods, the lower threshold is arranged with a supporting dam.

pri visokih vodah pa moramo zagotoviti odtok le-teh brez škodljivega dviga gladine na zajezenem gorvodnem odseku, hkrati pa preprečiti ogrožanje stabilnosti jezovne zgradbe in poslabšanja razmer zaradi erozije ali spodjedanja dolvodno (Steinman, 1999). Pogosto je naloga prečnih zgradb tudi zajezev vode ali lokalno zvišanje ravni vode, da bi pridobili energijski potencial za uporabnika (npr. mHE). Pri vodotokih s strmejšimi padci naravni material (zemljina), po katerem poteka trasa korita, ni dovolj odporen proti eroziji vodnega toka ob visokih vodah. Odpornost na erozijske sile lahko povečamo z oblogo, t. j. z utrditvijo ostenja ali z zmanjševanjem padca dna z izgradnjo rečnih stopenj (pragov). V zadnjem primeru na daljšem odseku sicer zmanjšamo vzdolžni naklon in s tem hitrost toka, zato pa v območju stopnje nastaja višek potencialne energije. Vodni curek se na jezovni zgradbi pospešuje in prehaja v deroči tok. Ker deroči tok hitro porablja potencialno energijo, ki jo je voda dobila zaradi izgradnje jezov, dolvodno od jezov tok preide preko vodnega skoka znova v režim mirnega toka, kakor ga narekujejo razmere na dolvodnem odseku vodotoka.

Razdalja, na kateri je vodni skok, je odvisna od pretoka in od razpoložljive energije. Ker ima deroči tok veliko erozijsko moč, je treba preprečiti, da bi tolmun pod pregrado ogrozil stabilnost objekta. Zato se z dolvodnim podpornim pragom doseže, da se vodni skok in z njim povezana disipacija odvečne energije zgodi čim bližje objektu, hkrati pa se tudi globina tolmana omeji.

Posebna vrsta prečnih zgradb, ki lahko zamenjajo jezove, so tudi hrapave drče. Pretočna površina, t. j. hrbet drče, je oblikovana iz večjih skal, med katerimi reže ostajajo nezapolnjene. Potencialna energija, t. j. višek energije, voda izgubi pri toku preko hrapavega hrbeta, ki ima običajno padec v naklonu od 1:10 do 1:15. Zaradi velike hrapavosti se energija, pridobljena pri poti po drči navzdol, sprosti porablja, zato za razliko od klasičnih prelivov na hrapavi drči dolvodno ne nastane vodni skok.



Slika 2. Hrapava drča – potencialna energija, pridobljena na poti po drči navzdol, se porablja za premagovanje velike hrapavosti. Zato za drčo ni izrazitega tolmana, niti vodnega skoka, temveč le valovit odtok.

Figure 2. Rough channel – the potential energy gained on the route downstream along the channel is used for overcoming the great unevenness. So the channel has no distinct pool or even a waterfall, but just a wavy outflow.

Za hudournike je značilno veliko nihanje pretokov, zato objekta, ki bi reševal problematiko zmanjševanja prenosa plavin, v celotnem spektru pretokov praktično ni. Nizki jezovi imajo torej, tako kakor vsi človekovi podvigi, le omejen doseg. Zato so objekti vedno projektirani na izbrani, t. i. »projektni pretok«, do katerega je njihovo delovanje optimalno, disipacija energije pa največja. Pri visokih vodah, ko je raven vode na dolvodni strani jezov dovolj visoka, se disipacijski učinek vseh nizkih pragov močno zmanjša in objekt predstavlja le še manjšo motnjo v toku. Ko je nizki jez s spodnje strani potopljen, sega vpliv spodnje vode na potek gladine preko jezovne zgradbe in gorvodno od nje, s tem pa je pretok čez prag zmanjšan.

V obdobju pred začetkom širše uporabe betona in večje rabe mehanizacije so kot prečne zgradbe v vodotokih prevladovali kaštni jezovi. Gre za ročno izdelavo lesenih zabožnikov (kašt) iz oblic, v katere se je nanosilo kamenje. Prelivni hrbet (krov) je bil izdelan iz lesa, običajno pa se je pred jezom uredila še zaščita pred plavjem ali ledom ter vodotesna plast (npr. nabita glina), da voda ni tekla skozi jez, temveč k uporabniku vode ali preko jezov. Ti objekti, izdelani iz materialov na dani lokaciji (les, kamenje, glina), so bili značilni primer zajetja vode za vodosilne naprave. Zanje so morali skrbeti imetniki vodne pravice, zato ni čudno, da so ti jezovi začeli izginjati, ko ni bilo več interesa za rabo majhnih vodnih potencialov. Ker se je število vodosilnih naprav precej zmanjšalo, so jezovi največkrat namenjeni le še za ureditev primerne padca vodotoka ali zmanjšanje prenosa sedimentov.

Kaštni jezovi imajo danes visoko krajinsko vrednost, predstavljajo pa tudi tehnično kulturno dediščino. Žal zahteva njihova izgradnja veliko ročnega dela, ki je danes drago, prav tako so potrebna večja sredstva za vzdrževanje, saj je krovni sloj izpostavljen obrabi zaradi rinjenih plavin, les pa trohnenju. Zato so klasični kaštni jezovi vse redkeje uporabljeni in jih že nekaj desetletij zamenjujejo jezovi in drče, izdelani iz materialov zdajšnje gradnje – betona ali betona v kombinaciji s kamenjem/skalami, pa tudi



Slika 3. Shematski prikaz dvostopenjskega kaštnega jezua. Desna fotografija enostopenjskega jezua prikazuje značilno poškodbo krova kaštnega jezua (prehod proda, trohnenje), kar zahteva redno vzdrževanje. (foto: T. Markič)

Figure 3. Diagram of two-phase log check dam. Right photo of single-phase dam shows typical damage to the cover of the log dam (transit of silt, rotting), which requires regular maintenance. (photo: T. Markič)

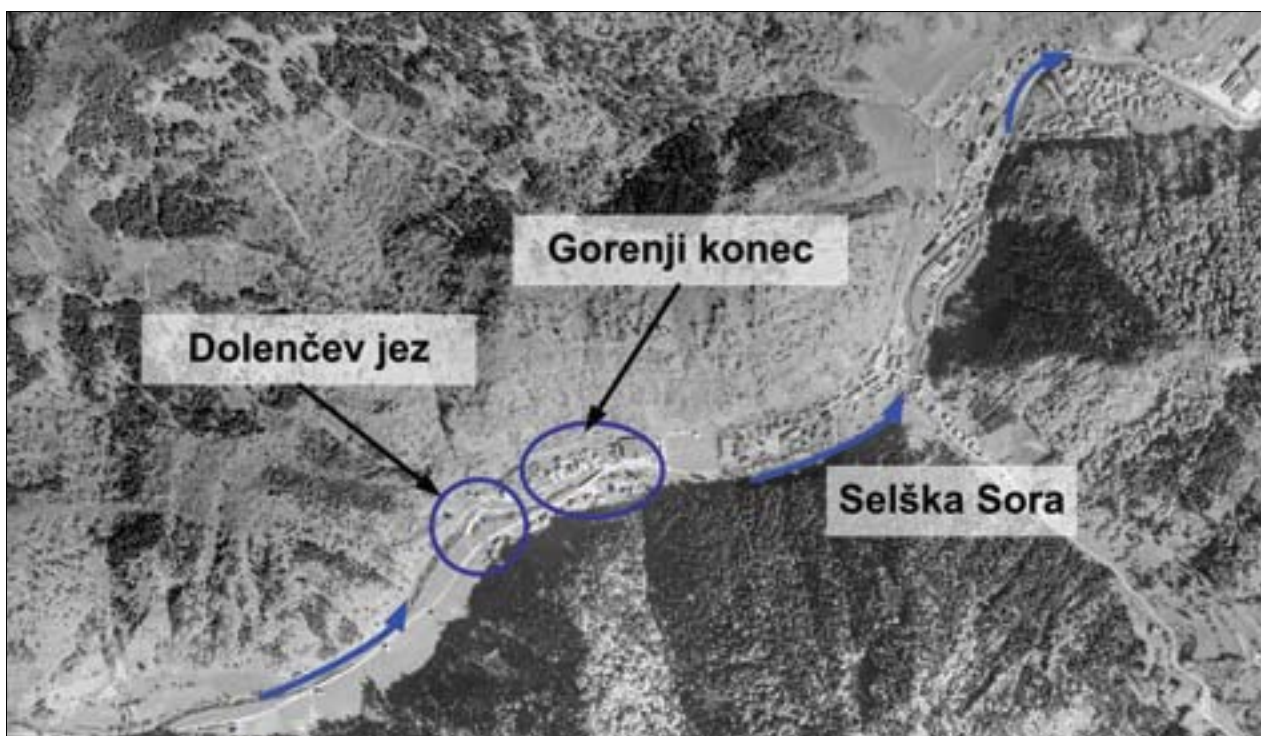
betonski jezovi, obloženi z lesom, ki ohranjajo le zunanji videz kaštnega jezua.

Dolenčev jez na Selški Sori

Dvostopenjski kaštni Dolenčev jez je bil na Sori zgrajen kot objekt za preusmeritev vode na vodosilno napravo. Nahaja se na gorvodni strani Železnikov, nad Gorenjim koncem, z višino jezua, ki je zmanjšala padec vodotoka, kar je zmanjševalo prenos sedimentov skozi Železnike ob visokih vodah. Dodaten problem na tej lokaciji predstavlja dotok hudournika Slap, ki je ob večjih padavinah izredno prodonosni in dodatno zasipava strugo Sore.

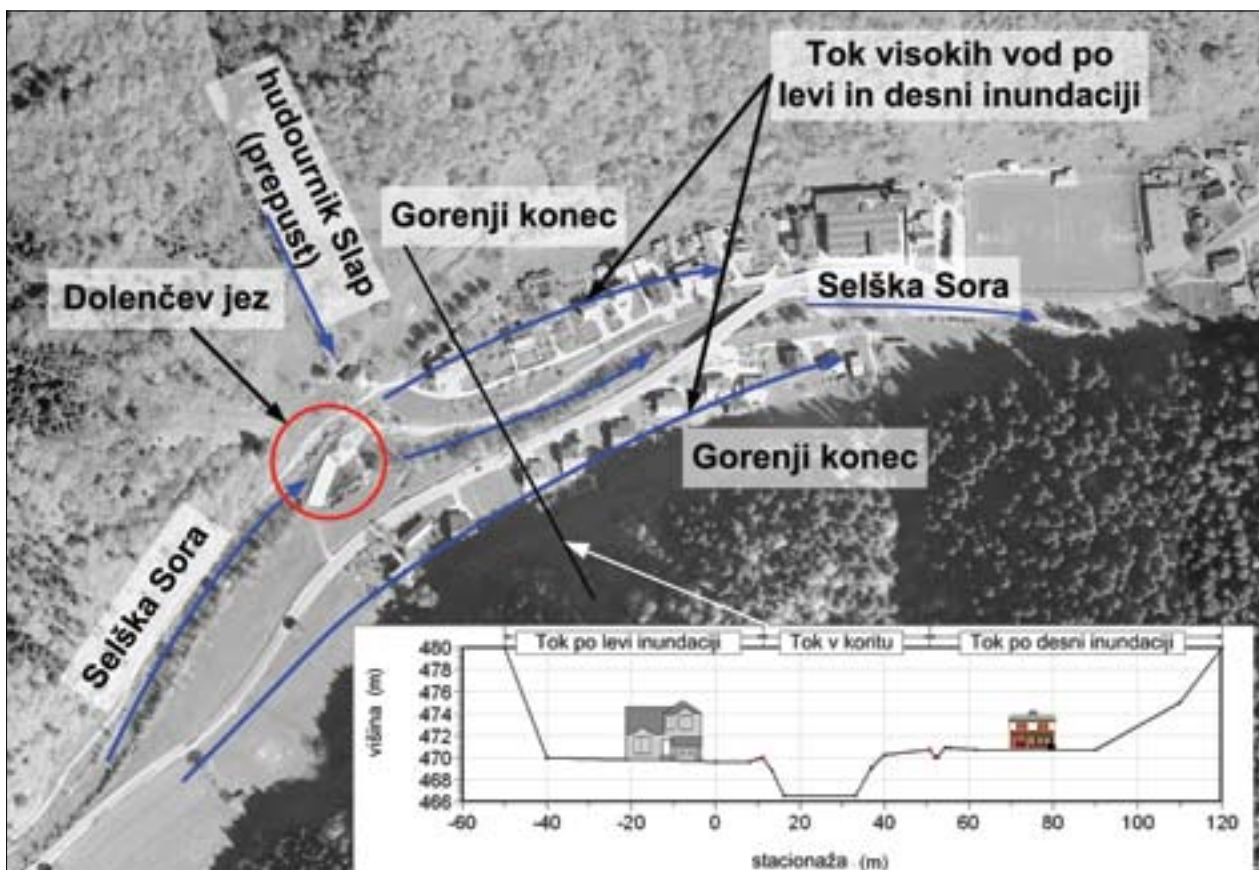
Kmalu po poplavnem dogodku leta 2004, v katerem je bil objekt močno poškodovan, je bila sprejeta odločitev o

rekonstrukciji Dolenčevega jezua. Prvotni dvostopenjski kaštni jez je zamenjala hrapava drča, zgrajena tako, da je imela za več kakor en meter nižjo prelivno krono. Dolžina poševnega prelivnega objekta je bila skrajšana, saj odvzemni objekt na jezua ni bil več potreben, ker ni bilo več uporabnika vodnega potenciala. Zaradi zakrivljene oblike jezovne zgradbe, ki naj bi usmerjala visoke vode v smeri struge Sore dolvodno, kar bi preprečevalo močnejše erodiranje levega visokovodnega nasipa, in omejenosti s prostorom, je bila hrapava drča izvedena z večjim naklonom kakor običajno, in sicer 1:3 do 1:5. Prav tako je bilo v sklopu te sanacije poglobljeno tudi rečno dno v dolžini približno 85 m gorvodno od jezua. S poglobitvijo struge in z nižanjem preliva jezua naj bi bila na tem odseku zagotovljena poplavna varnost obvodnega prostora, in s tem Gorenjega konca, pred visokimi vodami s 50-letno povratno dobo. Takšna ureditev bi



Slika 4. Lokacija Dolenčevega jezua na Selški Sori v Gorenjem koncu. (vir: GURS)

Figure 4. Location of Dolenčev dam on the Selška Sora, in Gorenji konec. (source: Slovenian Geodetic Administration)



Slika 5. Shematski prikaz poteka vodnega toka ob dogodkih visokih voda v septembru 2007 preko celotnega prereza doline – prikazane so različne veje vodnega toka in stavbe, ki ovirajo tok vode. (vir: GURS)

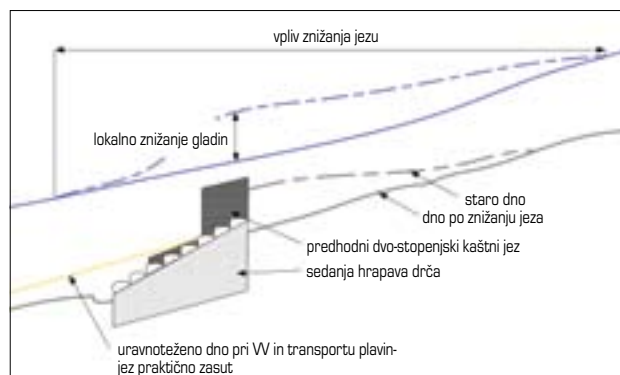
Figure 5. Diagram of water flow upon high water events in September 2007 over the entire cross-section of the valley – showing different branches of water flow and buildings impeding the flow of water. (source: Slovenian Geodetic Administration)

ustrezala celo varnosti pred 100-letno vodo v primeru izgradnje suhega zadrževalnika nad Jesenovcem, kakor je bil predlagan v študiji Koncept ureditve povodja Sore. Z izračuni, ki so bili opravljeni ob pripravi projekta ureditve Selške Sore, je bilo ugotovljeno, da bi s celotno ureditvijo struge skozi Železnike sicer lahko bistveno izboljšali pretočne razmere, vendar brez zadrževalnika še vedno ne varovanja pred pretoki stoletnih voda.

Ob poplavi septembra 2007 so na Dolenčevem jezcu nastali pretoki, višji od stoletnih voda. Zaradi številnih razprav o vplivu sanacije jezcu iz leta 2004 je bilo treba ponovno ovrednotiti razmere na jezovni zgradbi. Izračuni o učinkovitosti hrapave drčice pri visokih vodah so bili, enako kakor za projekt leta 2004, izdelani z enodimenzijskim modelom HEC-RAS. Ker je bilo obravnavano širše območje Sore, na katerem se vode izlivajo izven struge že precej nad Dolenčevim jezcu, gre za dvodimenzijski problem. Zato so bile razmere simulirane z uporabo vejičastega toka, kakor prikazuje spodnja slika. Na ta način je bil upoštevan tok vode čez celotni prečni presek doline, v katerem so ovire vodnemu toku tudi stavbe (slika 5).

Prav tako je bilo treba kar najprimerneje zajeti/simulirati sam jez. Z enodimenzijskim modelom je težko simulirati tok preko objekta z ukrivljeno osjo, saj nastaja tok v treh dimenzijah. Tok preko jezcu se zato izračuna na več načinov,

da se približamo dejanskemu stanju. Običajno se primerja račun jezcu kot zgradbe, postavljene pravokotno na potek rečne struge, z izračunom, če se prelivanje čez jezcu razdeli na dva ali več vodnih tokov ali vej. Pri visokih vodah, višjih od projektnega pretoka, je treba upoštevati še pojav toka izven glavnega rečnega korita. Zato je bil model podaljšan daleč gorvodno, vse do lokacije, kjer se voda izlije iz korita, in dolvodno, kjer se voda vrača v glavno strugo.



Slika 6. Shematski prikaz vzdolžnega prereza poteka dna struge in gladin za prejšnje in regulirano stanje.

Figure 6. Diagram of longitudinal cross-section of streambed and surface flow for the previous and regulated state.



Slika 7. Pogled izpod Dolenčevega jezua gorvodno. Reka si je ustvarila novo niveleto struge, drča pa skoraj ni več vidna in predstavlja le še stabilizacijsko rebro. (foto: G. Rak)

Figure 7. View upstream from below Dolenčev dam. The river has created a new stream grade, the channel is practically no longer visible and represents just a stabilisation rib. (photo: G. Rak)

Izračuni kažejo, da je bilo z izvedeno ureditvijo in znižanjem praga pri nižjih pretokih doseženo znižanje gladin gorvodno (glej sliko). Z večanjem pretoka se odsek, na katerem se pozna ugoden vpliv znižanja jezovne zgradbe, skrajšuje. Pri pretoku Q100 je zato ugoden vpliv le še lokalni, saj sega znižanje gladine le še dobrih 30 metrov gorvodno od profila 103, do katerega je bila izvedena poglobitev struge v prvi fazi. Pri visokih pretokih na tem odseku nastaja tok, ki je blizu kritičnemu toku, zaradi česar prihaja do nihanja vodne gladine, kar je bilo opaženo v dogodkih septembra 2007.

Iz tega je mogoče razumeti, da prva faza ureditve Selške Sore skozi Železnike, lokalno, v okolici Dolenčevega jezua, večinoma preprečuje prelivanje na desno inundacijo, seveda do projektnega pretoka. Pri visokih vodah nima velikega vpliva na zmanjševanje poplavne nevarnosti v desnem obvodnem prostoru, saj se poplavni tok oblikuje gorvodno, precej nad profilom jezua in njegovega vpliva ureditve. Zato pri visokih pretokih še vedno nastaja izrazito izlivanje iz struge na desno inundacijo, po kateri prihaja vodni tok mimo jezua in predstavlja nevarnost za objekte na desnem obvodnem območju.

Stanje na terenu po septembrskem dogodku kaže, da se je z obilnim prenosom plavin vzpostavil novi padec vodotoka, zaradi česar Dolenčev jez predstavlja le še talno stabilizacijsko rebro ali prečni prag majhne višine (slika 7). Z analizo prodonosnosti bo treba ugotoviti, ali novi padec predstavlja ravnovesje na tem odseku vodotoka, ali pa bo treba vzpostaviti drugačen stabilni odsek vodotoka.

Poplavna nevarnost ostaja še naprej velika za celotni Gorenji konec – tako na levem kakor na desnem bregu. Na desnem bregu je vir nevarnosti gorvodno izlivanje, kar povzroči tok Sore na obvodnem prostoru. Na levem bregu je iz fotografije mogoče videti zgrajen protipoplavni zid, ki ima omejeni doseg varovanja, zato so ga visoke vode septembra 2007 prelile. Prav tako je vidno, kako

vodni tok prihaja do mostu na cesti Zali Log–Železniki, ki ima dve pretočni odprtini: vegetacija na desni brežini »zapira« del pretočnega prereza, zato je pretočnost mostu zmanjšana. Dotekajoči vodi torej ne preostane drugega, kakor da odteka levo ali desno ob mostu.

Sklepne misli

Pri vsakem posegu v prostor, kjer obstaja možnost nastanka naravnih in drugih nesreč, je treba določiti mejo tveganja, ki smo ga pripravljeni sprejeti. Tako pri varstvu pred poplavami ločimo dve vrsti visokovodnih dogodkov:

- Dogodke, pri katerih je visokovodni pretok manjši od projektnih pretokov, t. j. od tistih pretokov, na katere je bil objekt dimenzioniran. Do te meje bi moral objekt ob rednem vzdrževanju brez posledic prenesti obremenitve in učinkovito opravljati nalogo varovanja objektov in prostora.
- Druga vrsta dogodkov so tisti, pri katerih nastane pretok, višji od projektnih vrednosti. Ob takšnih dogodkih je treba pričakovati nastanek škodljivih posledic na objektu in območju, katerega objekt ščiti. Za te primere je treba predvideti dopolnilne ukrepe, od pravočasnega obveščanja do učinkovite intervencije.

Ob visokih vodah septembra 2007 potekajo številne razprave o učinku in ustreznosti posameznih objektov. Zato smo prikazali primer rekonstrukcije Dolenčevega jezua, izvedene leta 2004, namenjene lokalnemu povečanju poplavne varnosti ob visokovodnih dogodkih. Prikazani so širši okviri reševanja poplavne problematike in pomen projektnega pretoka.

Pred rekonstrukcijo je dvostopenjski kaštni Dolenčev jez z dober meter višjo prelivno krono povzročal gorvodni vpliv, ki se je odražal v tem, da se je pri večjih pretokih del vode prej začel izlirati, izven struge pa je tekel večji delež pretoka, saj je bila struga plitvejša glede na okoliški teren. Rekonstrukcija jezua z znižanjem prelivne krone in poglobi-

tvijo rečnega korita gorvodno je stanje lokalno izboljšala in zagotavljala poplavno varnost območja pred visokimi vodami s 50-letno povratno dobo. Izračuni so pokazali, da je sanacija izboljšala stanje do nastanka nizkih visokih vodah, pri katerih se zmanjša ali ponekod odpravi poplavljanje, pri visokih vodah, ki so večji od projektnega pretoka, pa je vpliv rekonstrukcije majhen, a ugoden. Prikazano je, da ob visokih vodah postane vpliv jezov majhne konstrukcijske višine zanemarljiv, saj jih spodnja voda potopi, zato lahko nastanejo izraziti tokovi v obvodnem prostoru. Ker ob visokih vodah pride do intenzivnega prenosa plavin, vodotok ustvarja nov potek dna in nove smeri vodnih tokov, ki jih določajo pretočne razmere (npr. ovire v toku) in masovni dotok in prenos plavin.

Na povirju Selške Sore so, kakor je navedeno v različni literaturi, zelo neurejene odtočne razmere, ki jih povzročajo zarast brežin, kar zmanjša prevodnost struge, nesani-rana erozijska žarišča, s katerih se še dodatno prinaša material v struge vodotokov ipd. Analize, pa tudi dogodki septembra 2007 so pokazali, da imajo lokalni ukrepi zgolj

omejen doseg, zato je poleg ureditve odtočnih razmer območja bistvena tudi izgradnja zadrževalnika. Izboljšane visokovodne razmere na obravnavanem odseku vodotoka je mogoče doseči le z zadrževanjem pretokov gorvodno, kakor je predlagano v študiji Koncept ureditve povodja Sore z zasnovo zadrževalnika nad Jesenovcem. Razen zadrževanja voda je pomembna tudi prestrezna vloga zadrževalnika, saj bo treba v njem zadržati plavine, predvsem pa tudi plavje, ki so septembra 2007 povzročili še dodatne težave.

Viri in literatura

1. Rojnik, F. 2003. Načrt inženirske gradnje (PGD, PZI) »Ureditev Selške Sore skozi Železnike – Rekonstrukcija Dolenčevega jezua«. Ljubljana.
2. Steinman, F. 1999. Hidravlika. UL, FGG, Ljubljana.
3. Steinman, F. 2003. Hidrotehnika, Vodne zgradbe. UL, FGG, Ljubljana.
4. Steinman, F. 2008. Recenzija PGD/PZI »Rekonstrukcija Dolenčevega jezua«. Ljubljana.