

Tomaž HOJNIK *

UREDITEV REKE DRAVE MED DRŽAVNO MEJO IN JEZOM NA PTUJSKEM JEZERU

UVOD

V okviru študije Ureditev reke Drave med državno mejo in jezom na Ptujskem jezeru, smo po naročilu MOPE-ARSO obravnavali odsek Drave med Markovci in državno mejo pri Zavrču. Dolžina odseka znaša 14 km. Drava je zajezena z jezom v Markovcih, od koder je iz Ptujskega jezera speljan dovodni kanal do hidroelektrarne (HE) Formin, odvodni kanal pa se izliva v Dravo pri Ormožu.

Izvršen je bil geodetski posnetek prečnih profilov in prodišč, prvi po l.1977 (izvajalec Geodetski biro Slatinšek s.p.), izrednoteni so bili VV valovi s povratno dobo 2, 5, 10, 20, 50 in 100 let (izvajalca Darko Burja univ.dipl.inž.gradb. in Darko Anzeljc univ.dipl.inž.gradb.) ter izdelan 2d nestacionarni matematični hidrodinamični model celotnega obravnavanega odseka. Hkrati je bila opravljena tudi hidrogeološka analiza Presoja sprememb gladine podzemne vode na območju Ptujskega polja (izvajalec Geološki zavod Slovenije, dr. Miha Brenčič). Geodetski zavod Slovenije je, za potrebe naloge, izdelal barvni digitalni ortofto (DOF) v merilu 1:1000. Na terenu so bile evidentirane erozijske poškodbe ter nekatere morfološke značilnosti vodotoka. Na osnovi razpoložljivih podatkov in nove geodetske meritve smo, iz hidrotehničnega vidika, analizirali stanje na odseku Drave med jezom v Markovcih in državno mejo v Zavrču. Žal so iz projektne naloge bile črtane meritve, analize in modeliranje v zvezi s transportom plavin.

Obstoječi podatki so skopi, saj se od izgradnje HE Formin l.1978, niso izvajale praktično nobene meritve, razen rednih meritev gladin na VP Borl. Dragocen vir podatkov je bila geodetska izmera iz l.1977, aerofoto posnetka iz l. 1975 in 1980 ter DOF iz let 1997 in 2003. Zahvala gre tudi Dravskim elektrarnam Maribor za posredovanje, predvsem pa za redno beleženje podatkov o pretokih visokih vod na objektih HE. Na osnovi hidrodinamičnega matematičnega modela in analize stanja so bile izdelane poplavne karte ter zasnova vodnogospodarskih ureditev in vzdrževalnih del na obravnavanem odseku.

OPIS IN ANALIZA STANJA

Gorvodni del obravnavanega odseka med jezom in izlivom Dravinje dolžine ca. 2.6 km je bil okrog leta 1984 uravnan s profilom trapezne oblike in širino dna 120-130 m. Odsek dolvodno od izliva Dravinje je bil, po začetku obratovanja HE Formin, bolj ali manj prepuščen naravni sukcesiji. Večina obstoječih vzdolžnih zavarovanj izvira iz starejšega obdobja, zato je kar nekaj zavarovanj ob robovih stare struge oz. terase, daleč od obstoječe struge. Kasneje so se izvajala večinoma le lokalna popravila oz. dopolnitve kamnitih zložb. Širine struge Drave znašajo okrog 100 m, na nekaterih zaključenih odsekih pa je profil zožan tudi na širine okrog 45 m. Na brežinah ponekod prihaja do bočne erozije. Povprečen padeč dna reke Drave na obravnavanem odseku znaša 0.9 promila.

Po izgradnji derivacijske HE Formin in začetku obratovanja l.1978 se je režim odtoka, zlasti nizkih vod, po strugi Drave bistveno spremenil. V normalnih razmerah prevaja energetski sistem do 450 m³/s pretoka, ob tem pa mora odtekati po strugi Drave ekološko sprejemljiv pretok (5 m³/s pozimi, 10 m³/s poleti). Vse vodne količine nad potrebami elektrarne odteka po strugi Drave. Zaradi tega sedaj tečejo po strugi Drave večji del leta ca. 20 in večkrat manjši pretoki kot pred pričetkom obratovanja HE. To ima za posledico bistveno nižje gladine v strugi (v povprečju za 1.6 m), zaradi česar beležimo tudi znižanje gladine podtalnice.

*Tomaž HOJNIK univ. dipl.inž. gradb., Vodnogospodarski biro Maribor d.d., Glavni trg 19c, 2000 Maribor.

Zaradi jezovnih zgradb gorvodnih HE je močno zmanjšan tudi dotok rinjenih plavin na obravnavan odsek. Pri povišanih pretokih zato prihaja do procesov globinske erozije, ki pa je v veliki meri lokalna in prisotna le na lokacijah zoženih prečnih profilov ter meandrov. Podatkov oz. meritev v zvezi z gibanjem rinjenih plavin za obdobje po izgradnji HE Formin ni. Leta 1973 je Vodogradbeni laboratorij izdelal študijo Prodonosnost reke Drave in Mure. Obdelava granulacijskih krivulj je pokazala precej enakomerno upadanje srednjega zrna dm v smeri toka in sicer od $dm=40$ mm pri Hajdošah (in tudi Borlu) do $dm=28$ mm pri izlivu Pesnice. Z opazovanji je bil ugotovljen začetek prodonosnosti pri Ormožu pri pretoku 180 m³/s. Pri Mariboru in Ptujju je bil, zaradi vpliva gorvodnih HE, začetek prodonosnosti kasnejši. Opazovane vrednosti so znašale med 420 in 450 m³/s. Po izgradnji jezju v Melju so bili opazovani začetki gibanja proda med Mariborom in Ptujem šele pri pretoku 580 m³/s. Izračunana je bila letna količina prodonosnosti 130.000 m³ za profil Ormož. Direktne meritve v istem profilu so dale znatno višjo vrednost 300.000 m³/leto.

Kljub zmanjšanemu dotoku rinjenih plavin je na odseku veliko število prodišč. Ta so v večji meri porastla s tipično obrežno vegetacijo. Vegetacija na prodiščih povzroča imobilizacijo le-teh, hkrati pa sproža usedanje lebdečih plavin ob visokih vodah. Približno četrtnina vseh prodišč ni porastlih. Neparostla prodišča so gibljiva in zato ob visokih vodah ne zmanjšujejo pretočnega prereza.

Značilnost predstavljajo tudi rečne terase, saj je oblika oz. velikost poplavnega območja pri posameznih povratnih dobah v glavnem odvisna od lege in višine terase. Pri Forminu pot poplavnim vodam proti SV zapira odvodni kanal HE. Nižja terasa (oz. rob starejše struge z rokavi) leži skoraj po vsej dolžini odseka na levem bregu približno ob robu poplavnega območja Q2.

Struga reke Drave med Mariborom in Središčem ob Dravi je nacionalnega naravovarstvenega pomena in z namenom ohranjanja narave so večji deli tega območja že zakonsko zavarovani ali vsaj predlagani za zavarovanje.

Razmere pri nizkih vodah

Po strugi Drave odteka velik del leta v glavnem ekološko sprejemljiv pretok. Del struge ni izrabljen, zato se nekatera prodišča zaraščajo in konsolidirajo, kar povzroča zmanjševanje prevodnosti struge pri višjih pretokih.

Gladine pri nizkih vodah niso pomembne samo na območju struge temveč vplivajo, preko nivoja podtalnice, tudi na širše območje. Zato smo analizirali povprečne spremembe v gladinah, globinah in kotah thalwega pri nizkih pretokih na osnovi razpoložljivih podatkov iz l. 1977 in 2003. Primerjava gladin za obe obravnavani meritvi pokaže, da je gladina na odseku v povprečju upadla za 1.6 m, povprečno znižanje globin pa znaša 1 m (iz 2.6 m l. 1977 na 1.6 m l. 2003). Iz opisane primerjave ter primerjave kot thalwega sklepamo, da upad gladine zaradi znižanega pretoka znaša najmanj 1 m, upad gladine zaradi poglobitve struge pa največ 0.6 m. Splošno mnenje, da je za upad nizkovodnih gladin v strugi Drave (in podtalnice) krivo poglobljanje struge, je zmotno, saj je vpliv zmanjšanja pretokov približno 2x večji.

Razlika v površini vodnega telesa, iz vrednotena iz aerofoto posnetkov l. 1975 in l. 2003, pri nizkih pretokih znaša 240 ha, kar pomeni, da sedanja površina vodnega telesa pri nizkih pretokih znaša samo nekaj več kot četrtnino nekdanje (slika 1).

Razmere pri visokih vodah

Vpliv obratovanja HE na pretoke v strugi Drave je pri skupnih pretokih do 500 m³/s seveda znaten, nato pa upada, saj po kanalu odteka konstanten pretok 450 m³/s. Tako znaša npr. pri pretoku Q100 znižanje pretoka po strugi Drave zaradi obratovanja HE ca. 15 % (2447 m³/s namesto 2897 m³/s) glede na stanje pred izgradnjo HE.

Osnovna rečna struga v ožjem smislu ne prevaja pretokov z dvoletno povratno dobo. Pri Q2 obsega poplavno območje tudi nižje ležeče površine do prve terase oz. roba starejše struge z rokavi. Sklepamo lahko, da obseg poplavnega območja Q2 v obstoječem stanju ni bistveno drugačen od tistega pred l. 1978, spremenjena je le pokrovnost površin (prej večinoma vodno telo in tudi prodišče, danes lesna zarast). Pri pretokih, ki so večji kot ca. Q2 se voda razlije po obsežnih inundacijskih območjih širine okrog 1.5 km, ki so večinoma omejena z rečno teraso na levem bregu. Zaradi značilne konfiguracije terena (skoraj ravna inundacija omejena z visoko ježo) je obseg poplavnih območij Q10

do Q100 skoraj enak. Tudi obseg poplavnega območja Q5 je podoben, le da je nekoliko manjši, predvsem na območju Borla in Male vasi.

Površina poplavnega območja pri Q10 znaša kar 92% (1602 ha) površine poplavnega območja pri Q100 (1750 ha), površina poplavnega območja pri Q5 76 % in pri Q2 32 % površine poplavnega območja pri Q100. Zanimivo je, da je pred letom 1978 znašala površina vodnega telesa Drave pri nizkih (stalnih) pretokih (slika 1) kar 19 % (336 ha) površine sedanjega poplavnega območja pri Q100. Sedanja površina vodnega telesa pri Qesp znaša 5% površine poplavnega območja pri Q100.

Iz situacije v merilu 1:5000 in DOF smo iz vrednotili število poplavljenih bivalnih objektov v obstoječem stanju za obravnavane povratne dobe. Pri pretoku Q2, na obravnavanem območju, ni poplavljenih objektov. Pri pretoku Q5 je poplavljenih 8 objektov. Gre za objekte ki ležijo bližje strugi. Pri pretoku Q10 je poplavljenih 19 objektov, pri pretoku Q100 pa 46 objektov. Največja gostota poplavljenih objektov (približno tretjina vseh poplavljenih objektov) je na območju Muretincev (ob cesti Borl-Muretinci) ter južno od Stojncev. Iz vrednotili smo tudi poplavne površine glede na rabo in sicer za kategoriji kmetijske površine (njive, travniki,...) ter površine z lesno zarastjo (gozdovi, logi,...). Delež poplavljenih površin z lesno zarastjo je velik, 73% pri Q2, 54% pri Q10 in 52% pri Q100, kar kaže na prilagojeno rabo pa tudi na zaraščanje nekoč vodnega telesa.

Morfološke razmere

Zaradi spremembe pretočnega režima pri nižjih pretokih po začetku obratovanja HE ter zmanjšane dotoka rinjenih plavin, je na obravnavanem odseku prišlo do nekaterih morfoloških sprememb. Del morfoloških sprememb Drave je gotovo tudi posledica dejstva, da v zadnjem desetletju nastopajo visoke vode izključno jeseni, pred tem pa je bil nastop visokih vod značilen za spomladansko in (redkeje) poletno obdobje. To vsekakor ima, v povezavi z rastno dobo rastlin, določen vpliv na morfologijo vodotoka, verjetno pa tudi na celoten ekosistem (v povezavi z razmnoževalnimi cikli živali in rastlin...).

Najbolj očitna sprememba je ožanje struge, kot posledica zaraščanja nekoč obširnih prodišč (oz. potopljenih površin) ter lokalno poglobljanje struge. Kvantitativno in kvalitativno oceno morfoloških sprememb v zadnjih 30 letih podajamo na osnovi izmerjenih prečnih profilov l. 1977 in l.2003 ter na osnovi primerjave aerofoto materiala iz l. 1975, DOF iz let 1997 ter DOF in geodetskega posnetka iz l.2003.

Razlika v obsegu vodnega telesa l.1975 in l.2003 pri nizkih pretokih je znatna, saj sedanja površina vodnega telesa pri nizkih pretokih znaša približno četrtino nekdanje. Posledica upada gladine zaradi zmanjšanih pretokov je bilo postopno zaraščanje osušenega (nekoč) rečnega dna. Iz aerofoto posnetka iz l. 1980 (ki ga žal nimamo v digitalni obliki) je vidno, kakšen vpliv je imelo znižanje gladine zaradi zmanjšane pretoka, saj je izven vode naenkrat ostalo ogromno proda. Leta 1975 je bilo na odseku 10 prodišč, od tega 5 neporaslih. Leta 2003 beležimo 33 prodišč, od tega 8 (25 %) neporaslih. Sedanja prodišča so v splošnem manjša od nekdanjih. Očitne zveze med lego ali velikostjo prodišč l. 1975 in l. 2003 ni mogoče najti, kar je, zaradi popolnoma drugačnih odtočnih razmer tudi razumljivo. Bolj očitna je ta zveza med leti 1997 in 2003. Iz te primerjave vidimo, da je v 6 letih, na odseku nastalo ali se znatneje premaknilo ca. 7 prodišč. V istem obdobju so bila preraščena 4 prodišča. Na isti lokaciji ter neporaščena so ostala štiri prodišča, ki so tudi največja in najvišja. Prodišče pod mostom v Borlu je bilo pred letom 1997 ob levem bregu, približno enako široko kot danes in ca. 60 m daljše ter neporaščeno. Po neuradnih podatkih je bilo visoko ca. 2 m nad gladino Qesp. Leta 1997 je bilo očiščeno (odstranitev proda približno do kote gladine Qesp), ob levem bregu pa je bila izveden tudi obtok. Prodišče se je po posegu v nekaj letih spet dvignilo (danes je visoko ca. 1.4 m), z leve strani pa se je struga znatno poglobila (najmanj za 2.5 m). Prodišče se je, po omenjenem posegu, začelo zaraščati ob robovih.

Pri iskanju odgovora na vprašanje, zakaj so nekatera prodišča obrasla, nekatera pa ne, smo prišli do novega spoznanja o posledicah višine prodišč. Primerjava povprečne višine prodišča nad gladino nizke vode s prisotnostjo zarasti pokaže jasno zvezo. Povprečna višina poraslih prodišč znaša 0.55 m, neporaslih pa 1.25 m. Prodišča, ki so višja od ca. 1m so neporasla, ostala pa so preraščena. Vrednost 1m predstavlja precej ostro mejo. Vsa porasla prodišča, ki so višja (ca. 0.8 m) so starejša oz. so bila prisotna že l. 1995-1997, zato sklepamo, da se je na njih že začel proces sedimentacije finejših frakcij zaradi zarasti ob visokih vodah. Zvezo med višino prodišča in prisotnostjo zarasti razlagamo z dejstvom, da gre pri prodišču za zelo vodoprepusten material, ki deluje kot drenaža za padavine, zaradi grobe sestave pa je tudi kapilarni dvig zanemarljiv, zato rastline preprosto ne morejo uspevati. To

potrjuje tudi dejstvo, da se prodišča začnejo zaraščati ob nižjih robovih oz. položnih brežinah ob vodi. Ko se ob robovih ustvari zarast (npr. ob izpadu višjih pretokov, ki bi prestavili zgornji sloj prodišča), leta začne delovati kot nekakšen usedalnik, zato se na prodišču ob umiku visoke vode odlagajo finejše frakcije. Šele takrat (oz. po nekajkratni ponovitvi procesa) so ustvarjeni pogoji za rast rastlin. Na osnovi razpoložljivih podatkov lahko trdimo, da bi se na obravnavanem odseku prodišča, ki so le 0.3-0.5 m nad gladine nizke vode, začela zaraščati že v prvi rastni sezoni. Prodišča, ki so višja od 1-1.2 m pa lahko ostanejo neporasla zelo dolgo časa oz. se delno zarastejo le ob spletu neugodnih okoliščin. Menimo, da je to zelo pomembna ugotovitev, ki bi morala vplivati na način izvajanja vzdrževalnih del (sedanja praksa je, da se prodišča denivelirajo približno do kote gladine Qesp+0.2 m) na obravnavanem odseku. Očitno je, da denivelacija prodišč na višino manj kot ca. 1m nad gladino Qesp razmere prej poslabša kot izboljša. Povprečen naklon brežine stabilnega neporaslega prodišča znaša 1:8. Evidentiramo lahko tudi odseke, na katerih ni prodišč. To je po pričakovanju značilno za odseke z močno zoženim profilom. Prodišča se na obravnavanem območju ne pojavljajo pri širini profilov do ca. 75 m.

Večina inundacije v bližini reke je porastle z lesno zarastjo, zato ob bočni eroziji drevesa padajo v vodo. Delno ostanejo na mestu porušitve ter tako varujejo brežino pred nadaljno erozijo, delno pa jih odnese voda. Ko jih potem odloži, se ob njih nabira plavje in kmalu se ustvarijo zeleni otočki. Takšni majhni otočki ob podrtih drevesih so na obravnavanem odseku dokaj pogosti.

Ker je bil na obravnavan odsek, po izgradnji verige HE, dotok rinjenih plavin zmanjšan, je zanimivo vprašanje prodne bilance odseka. Le-to smo iz vrednotili na osnovi primerjave 29 prečnih profilov posnetih v letih 1977 (malo pred začetkom obratovanja HE Formin) in l.2003. Bilanca je pokazala, da je z odseka zajetega v bilanci (dolžina 12.5 km) v 25 letih odneslo 360000 m³ proda (28.8 m³/m), kar je po našem mnenju presenetljivo malo (14400m³/leto oz. 1.152 m³/m/leto). Proda ni odnašala enakomerno, obstajajo celo odseki kjer je prodna bilanca pozitivna. Iz primanjkljaja ali presežeka proda v posameznem profilu in sprememba kote thalwega ter vsotne črte prodne bilance odseka smo ugotovili, da samo iz primerjave thalwega ne moremo soditi o morfoloških procesih v strugi, saj obstajajo odseki oz. profili, kjer se je thalweg znatno znižal, prodna bilanca pa je pozitivna. To je na odsekih ob večjih prodiščih, ki rastejo, ob njih pa se zožena struga pogloblja. V primeru, ko sta tako thalweg kot prodna bilanca na pozitivni strani, gre za enakomerno zasipavanje profila, ko sta obe veličini negativni pa za enakomerno poglobljanje. Če je thalweg na pozitivni strani, prodna bilanca pa negativna, gre za širitev profila. Iz prodne bilance smo ugotovili, da je na dolvodnem delu odseka primanjkljaj nekoliko večji. Na prvih treh kilometrih od meje (ca. 25 % oz. 1/4 celotnega odseka) znaša primanjkljaj 130000 m³ oz. 36% celotnega primanjkljaja. To je lahko posledica dejstva, da ima prod dolvodno od Borla drobnejšo sestavo (po analizah iz l. 1973). K primanjkljaju bi lahko prispevale tudi morebitne dejavnosti ali ureditev dolvodno od meje. Odsek med izlivom Dravinje in Borlom je praktično stabilen (slika 2).

Hidrogeološke razmere

Bistvene ugotovitve v zvezi s hidrogeološkimi razmerami povzemamo po elaboratu Presoja sprememb gladine podzemne vode na območju Ptujkega polja (arh.št. K-II-30d/c-4/516-c, Geološki zavod Slovenije, dr. Miha Brenčič), ki je bil izdelan v sklopu predstavljene študije.

Gladine podzemne vode so se v zadnjih desetletjih spremenile na celotnem območju Ptujkega polja vendar ne enakomerno. Spremenili so se lokalni gradienti. Po izgradnji in začetku obratovanja HE Formin se je podzemna voda na območju med Ptujem in Markovci dvignila. Vzrokov za ta dvig je več. Poleg formiranja Ptujkega jezera je vzrok za dvig tudi postavitve vzdolžnih drenaž ob dovodnem kanalu in jezeru. Južno, pod dovodnim kanalom pa je prišlo do znižanja gladine podzemne vode. Na območju Nove vasi znaša to znižanje od 1.5 do 2 m glede na stanje pred začetkom izgradnje HE Formin. Nato pa se obseg znižanja podzemne vode glede na prvotno stanje podzemne vode v smeri proti vzhodu zmanjšuje. V območju farme pitancev vzhodno od Placerovcev so današnji nivoji podzemne vode podobni nivojem iz časa pred izgradnjo in obratovanjem HE Formin. Današnje karte gladin podzemne vode kažejo, da se je na črti med Markovci in Moškanjci nekoliko povečal strmec gladine podzemne vode.

To so ugotovitve, ki se nanašajo na prostorski odnos med podzemno vodo in reko Dravo. Na podlagi razpoložljivih podatkov pa ni mogoče opredeliti dinamike odnosa med reko Dravo in podzemno vodo, še zlasti ne z vidika časovnega razvoja. V ta nameni bi bilo potrebno izvesti terenske meritve nihanja nivojev podzemne vode v odvisnosti od nihanja pretočnih višin reke Drave. Vpliv spremembe nivojev gladine v reki Dravi na nivoje podtalnice je bil grobo ocenjen s poenostavljenim analitičnim izračunom.

Natančnejše ocene bi bilo moč podati le na podlagi numeričnega modela toka podzemne vode in numeričnega modela, ki bi združil tok vode v reki in v vodonosniku. Na podlagi rešitve za impulzno spremembo nivoja vode v reki po Bearu in na podlagi ocenjenih povprečnih parametrov je bilo ocenjeno, da pri znižanju nivoja vode v reki Dravi za 1 m, nivoji podzemne vode v vodonosniku upadejo za 0.85 m, pri znižanju nivoja v reki za 2 m pa za 1.7 m. To so vrednosti, ki so primerljive glede na vrednosti znižanja nivojev podzemne vode na območju Nove vasi, kjer znaša ugotovljeno znižanje podzemne vode od 1.5 do 2.0 m. Zaključimo lahko, da obstaja očitna povezava med zabeleženim povprečnim padcem gladine v Dravi in padcem nivoja podtalnice.

HIDRAVLIČNA ANALIZA

V dosedanjih hidroloških študijah so bili obdelani le verjetni pretoki (t.i. konice valov). Zato je bila v okviru predstavljene študije, na osnovi analize povratne dobe volumnov desetih zabeleženih visokovodnih valov med leti 1965 in 2000, izvršena sinteza celotnih teoretičnih visokovodnih valov (hidrogramov), ki so potrebni za nestacionarne analize.

Hidravlično analizo za obstoječe stanje in zasnovane ureditve smo izvršili z nestacionarnim dvodimenzijskim matematičnim modelom Flo-2d, saj se je med umerjanjem izkazalo, da zaradi narave pojava, z 1d modelom ni mogoče dobiti dovolj dobrih rezultatov. Program Flo-2d z eksplicitno shemo končnih razlik rešuje osnovni St. Venantovi enačbi. V strugi lahko upošteva enodimenzijsko obliko, za inundacijo pa dvodimenzijsko obliko. Ko gladina naraste čez rob struge, se voda začne prelivati po mreži kvadratnih celic. Pretok med strugo in inundacijo se računa s posebno rutino na osnovi razlik v gladinah. Zaradi tega je posebno primeren za rečno hidravliko oz. območja z izrazitimi inundacijami in za sledenje visokovodnih valov.

Za opis struge smo uporabili vseh 85 izmerjenih prečnih profilov iz l. 2003. Zaradi narave modela mora biti vsaki celici, ki leži na strugi, pripisan prečni profil, zato je bila potrebna tudi interpolacija prečnih profilov. Vsega skupaj je zato v modelu 123 profilov ter 1995 celic velikost 100x100 m. Za opis inundacije smo naredili digitalni model reliefa (DMR) iz podatkov dolinskih prečnih profilov in z digitalizacijo kart TTN-5. Povprečen računski čas je znašal ca. 3.5 min za eno uro modelnega časa na računalniku s procesorjem AMD MP 2400+. Tako je izračun za posamezen primer trajal, v odvisnosti od trajanja vhodnega hidrograma, med 2.5 in 7.5 h. Povprečen računski korak Δt je znašal okrog 0.15 s pri računu Q2 do 0.04 s pri računu Q100.

Za umerjanje smo imeli na razpolago zabeležene kote gladin v 14 točkah ob poplavnem dogodku 8.10.1998, ko je maksimalen pretok znašal okrog 1550 m³/s (ca.Q10). Večina teh točk leži ob robu poplavnega območja, torej na večji razdalji od struge, v bližini struge je 5 točk. Eno točko smo, zaradi očitne napake pri meritvi ali obdelavi, izločili iz obravnave. Kot že večkrat do sedaj se je, tudi pri tej nalogi, pojavil problem podatkov o pretokih, saj obstaja veliko neskladje med pretoki, ki sta jih zabeležila DEM in MOPE-ARSO. Problem smo rešili tako, da smo privzeli, po analizi vseh podatkov, pri obeh virih 10% mersko napako (pri DEM v negativno smer pri MOP-ARSO pa v pozitivno).

Pri 1D modelu (HEC-RAS) smo lahko dosegli dobro ujemanje z zabeleženimi gladinami samo v točkah, ki so blizu struge, kar je fizikalno pričakovan rezultat. Umerjene vrednosti Manningovega koeficienta n_g znašajo 0.037sm^{-1/3} za strugo in 0.06 sm^{-1/3} (kmetijske površine) ter 0.1 sm^{-1/3} (gozdovi) za inundacijo. To se ujema z vrednostmi umerjenimi ob istem poplavnem dogodku na odseku Maribor-Duplek. Ujemanje med zabeleženimi in izračunanimi gladinami v točkah ob robu poplavnega območja (ca. 500-1500 m od struge) je slabše, saj model predpostavi horizontalno gladino v prečni smeri. Odstopanja znašajo med 50 in 70 cm, v nekaterih točkah pa tudi manj.

Prijetno so presenetili rezultati umerjanja z nestacionarnim 2D modelom, saj največje odstopanje med zabeleženimi in izračunanimi gladinami znaša 58 cm v točki, za katero prav tako obstaja dvom o ustreznosti meritve. Absolutna odstopanja izračunanih gladin v ostalih 12 točkah so manjša od 46 cm, od tega v kar 6 točkah manjša od 10 cm (!), v dveh točkah med 10 in 20 cm ter v dveh točkah 30 cm. Menimo, da je model zelo dobro umerjen. Poleg tega so izračunane gladine v povprečju višje od zabeleženih, kar pomeni da so rezultati na varni strani. Umerjen Manningov koeficient v 2D modelu znaša 0.029 sm^{-1/3} za strugo in 0.045sm^{-1/3} (kmetijske površine) ter 0.08 sm^{-1/3} (gozdovi) za inundacijo. Razlika med umerjenimi vrednostmi n_g za 1D in 2D model ni nenavadna. To je posledica različnega matematičnega opisa in numeričnega modela. Točnost rezultatov 2D modela posredno potrjuje tudi ustrezna transformacija hidrograma med Markovci in Borlom ter ujemanje oblike in velikosti zabeleženega in izračunane poplavnega območja oktobra 1998.

Da bi ugotovili, kako se model odziva na spremembe parametrov, smo izvršili dodatne izračune tako, da smo zvečali in zmanjšali vrednosti ng za strugo in inundacijo za 10% v različnih kombinacijah. Za umerjene vrednosti ng pa smo izvršili še izračun z 10% povečanim in zmanjšanim hidrogramom v Markovcih. Ugotovili smo, da se model na spremembe parametrov odziva pričakovano. Spremembe v kotah gladin so relativno majhne, za vse primere znotraj 10-20 cm. Vpliv spremembe ng v strugi je bistveno večji kot vpliv spremembe ng v inundaciji. Vpliv spremembe pretoka je približno enak vplivu spremembe ng v strugi.

Z umerjenim modelom smo izvršili izračune za obstoječe stanje in zasnovane ureditve pri pretokih s povratno dobo 2, 5, 10, 20, 50 in 100 let. Ugotovljeno je bilo, da ne prihaja do bistvenih transformacij ali zakasnitev VV valov. Razlike med gladinami v strugi in inundaciji so lahko bistvene. V splošnem so gladine v inundaciji nižje in padajo v naklonu ca. 1 promil v smeri stran od struge. Tako so na razdalji 1km od struge gladine nižje za ca. 1 m. To je zelo pomembno npr. pri dimenzioniranju nasipov, saj omogoča prihranke v materialu, glede na rezultate 1D modela. Takšen prečni potek gladine bi bilo smiselno verificirati še s terenskimi meritvami prečnega profila gladine ob VV in preučiti vpliv trajanja vala na omenjeno razliko gladin. Na območju izliva Dravinje teče, v obstoječem stanju, pri Q100 ca. 40 % pretoka po inundaciji, nato ta vrednost do Borla pada in v Borlu znaša ca. 20 %. Dolvodno od Borla teče po inundaciji v povprečju ca. 25-30% pretoka pri Q100, delež pretoka po inundaciji se veča v dolvodni smeri proti Zavrču. Ti odstotki se z manjšanjem povratne dobe oz. maksimalnih pretokov seveda manjšajo.

Med drugim smo želeli ugotoviti vpliv razširitve (dejansko čiščenja) struge. Modelirali smo razširitev profila na 100 m na koti generalne nivelete. Vpliv ureditve na gladine visokih vod in obseg poplavnega območja bi bil znaten. Znižanje gladin v strugi znaša ca. 1 m. Večje je seveda pri Q2, do 1.2m, ker še ni izrazitega toka po inundaciji, nato pa z večanjem pretoka upada, pri Q100 znaša do 70 cm. Vpliv znižanja gladin zaradi ureditve pada z oddaljenostjo od struge, vendar je tudi pri Q100 še zmeraj ugoden in znaša v povprečju ca. 25-30 cm. Zaradi ureditve pride do znatne prerazporeditve pretokov. Delež pretoka po inundaciji pri ureditvi je bolj enakomeren in za ca. 50 % manjši kot v obstoječem stanju na območju urejanja. To bi lahko imelo za posledico manjšo površinsko erozijo ob poplavah na obdelovalnih površinah. Pri pretoku Q10 bi hitrosti v inundaciji, dolvodno od Borla, znašale večinoma manj kot 0.5 m/s, medtem ko v obstoječem stanju znašajo 1-2 m/s.

ZASNOVA UKREPOV

Glede na analizo stanja so bili predlagani ukrepi za:

- zagotovitev ustrezne poplavne varnosti poplavno ogroženim bivalnim objektom
- zagotovitev ustrezne poplavne varnosti predvideni glavni cesti 1.reda Ptuj-Ormož
- zmanjšanje erozijske ogroženosti infrastrukturnih objektov in obdelovalnih površin
- povečanje rečne dinamike
- znižanje stroškov vzdrževanja vodotoka in vodnogospodarskih objektov
- zagotovitev finančnih sredstev za vodnogospodarske posege na območju

Predlagano je čiščenje struge (t.j. enostranska širitev) na širino 100 m na koti generalne nivelete v skupni dolžini 8061 m. Širitev profila je predvidena v območja, ki so še pred 25 leti bila pod gladino vode pri stalnem pretoku (slika 1). Pri posegu bo potrebno izkopati 1.023 mio m³ materiala (predvsem proda in mivke), od tega se bo pri ureditvah struge (berme, prodišča) porabilo 146.000 m³ proda. Širina 100 m je izbrana, ker primerjava rezultatov geodetskih meritev iz l.1977 in l.2003 kaže, da ta širina na obravnavanem odseku zagotavlja najstabilnejši profil, saj je na strnjenih odsekih, kjer je sprememba thalwega zanemarljiva profil v povprečju širok ca. 100 m. Pri znatno širšem profilu je pričakovati večje odlaganje plavin, pri znatno ožjem pa globinsko in bočno erozijo. Zaradi povečanja pretočnosti struge se bo zmanjšal pretok v inundacijah, kar bo predvidoma imelo določen ugoden vpliv tudi na zmanjšanje površinske erozije obdelovalnih zemljišč. Predlagano čiščenje profilov bi imelo zelo ugoden vpliv tudi na znižanje gladin visokih vod. Zaradi konfiguracije terena se površina poplavnega območja Q2 skoraj ne bi spremenila, površina poplavnega območja pri Q5 bi se zmanjšala kar za 28 %, pri Q10 pa za 19 %. Pri pretokih višjih od Q20 bi to zmanjšanje znašalo le nekaj odstotkov, saj poplava sega do roba terase. Ugodno je, da gre zmanjšanje poplavnih površin pri Q5 in Q10 predvsem na račun obdelovalnih površin. Pri Q5 bi po ureditvi bila poplavljeni le 2 bivalna objekta, pri Q10 9 objektov in pri Q100 40 objektov.

Zaradi razpršene pozidave je najbolj smiselno in cenovno sprejemljivo, reševati poplavno varnost objektov na nivoju posameznega objekta. Zaščita vsebuje montažne elemente za tesnitev kletnih oken

in vrat, hidroizolacijske omete in ureditev iztokov kanalizacije, kjer je to možno pa lokalne nasipe ali ograje z betonskimi parapeti okrog objektov.

Naslednji predlagan ukrep predstavlja posek zarasti na prodiščih površine 153.000 m². S tem bodo prodišča spet postala gibljiva, kar bo pripomoglo k rečni dinamiki in obnovi zelo redkih habitatnih tipov. V zvezi s posekom zarasti na prodiščih bi bilo smiselno tudi poskusno nadvišanje prodišč na višino ca. 1.2 m nad gladino Qesp (tako da bi se material iz robov prodišč narinil proti sredini, dobili bi manjše, a višje prodišče). S tem bi predvidoma preprečili zaraščanje (in zmanjšali stroške vzdrževanja), hkrati pa pretočna sposobnost profila ne bi bila zmanjšana, saj so neporasla prodišča med VV gibljiva. Predvidena je ohranitev vseh, v obstoječem stanju neporaslih prodišč (razen dolvodno od mosta v Borlu, ki se delno prestavi). Zelo pomemben ukrep za zmanjšanje stroškov vzdrževanja in znatno izboljšanje rečne dinamike, predstavlja redno letno odpiranje zapornic na jezu v Markovcih. Smiselno in ekonomsko upravičeno bi bilo vzpostaviti režim pretokov s ca. 1 letno povrtano dobo. Potrebno bi bilo vsakoletno spuščanje ca. 500 m³ pretoka za ca. 5 ur na jezu v Markovcih, najboljše spomladi. Problem je predvsem organizacijske narave, potrebno je obveščanje lokalnih prebivalcev.

Ocenjena investicijska vrednost predlaganih ukrepov znaša 1351 mio SIT. S prodajo presežkov izkopanega proda bi se investicija pokrila, kar predstavlja enkratno priložnost tudi za izvedbo nekaterih manj običajnih in dražjih ukrepov, kot je npr. vnos ca. 32.000 m³ proda na gorvodni del odseka.

ZAKLJUČKI

S primerjalnimi analizami smo prišli do sledečih zaključkov in spoznanj:

- Poglavitni vir problemov na odseku predstavlja spremenjen režim nizkih in srednjih pretokov ter izpad pretokov z 1 letno povratno dobo. Obsežna območja, ki so bila nekoč pod vodo, so se v 25 letih zarastla, zato se je pretočni profil za višje vode zmanjšal. Posledica znižanja stalnih pretokov v strugi je tudi zabeleženo znižanje gladin podtalnice na gorvodnem delu obravnavanega odseka.

- Kljub (verjetno) znatnemu znižanju dotoka proda na odseku, v zadnjih 25 letih ni prišlo do generalne spremembe nivelete dna. Poglobitve so lokalne in predvsem posledica zožitev profila. Primanklaj proda na odseku je mali, večji je na dolvodnem delu odseka.

- Obstaja očitna zveza med višino prodišča in poraščenostjo le-tega. Zniževanje neporaslih prodišč ni smiselno, če pa je že potrebno, naj višina znižanega prodišča ne bo manjša od 1.2 m nad gladino Qesp. Zarast na poraščenih prodiščih je smiselno odstranjevati, prodišča pa ustrezno nadvišati, saj se na ta način zmanjšujejo stroški vzdrževanja. Neporastla prodišča so med visokovodnim dogodkom gibljiva, zato povzročajo znatno manjše zmanjšanje prevodnosti profila od porastlih prodišč.

- Primerjava rezultatov 1D in 2D modela z meritvami je pokazala veliko vrednost 2D modela, saj je tok po inundaciji izrazito dvodimenzijski, gladine v prečni smeri pa niso enakomerne. Uporaba 2D modela za podobne primere je več kot upravičena, v primeru projektiranja visokovodnih nasipov na večji oddaljenosti od struge pa omogoča tudi znatne materialne prihranke.

Menimo, da bi bilo zaradi spremljanja dogajanja in trendov, pridobivanja novih spoznanj ter velike vrednosti zbranih podatkov za zanamce pomembno:

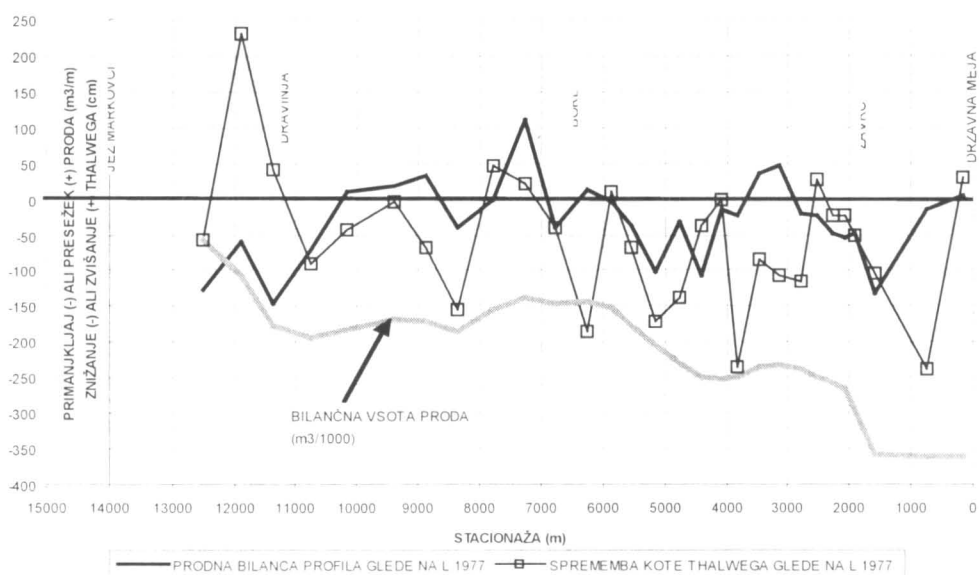
- beležiti gladine visokih vod pri vseh pretokih nad 700-800 m³/s, občasno pa tudi pri nižjih. V ta namen bi bilo smiselno določiti stalne merske točke ter urediti dostope.
- umeriti pretočni krivulji na VP Borl in VP Videm tudi pri višjih pretokih
- izvajati redne geodetske meritve prečnih profilov
- odvzeti in analizirati vzorce proda na več lokacijah s ciljem evidentiranja stanja, v bodočnosti pa izvajati redno vzorčenje
- proučiti količine in način naravnega dotoka proda na območje
- zaradi verifikacije 2D modela in možnih velikih materialnih prihrankov v zvezi z morebitno izgradnjo visokovodnih nasipov na podobnih odsekih bi bilo, ob visokih vodah, smiselno izvesti tudi meritve prečnih profilov gladin v inundacijah

Viri:

- Vodnogospodarski biro Maribor d.d., 2003. Ureditev reke Drave med državno mejo in jezom na Ptujskem jezeru. Št.pr. 2492/02, december 2003.



Slika 1: Aerofoto iz l.1975 ob normalnem pretoku Drave z vrisano današnjo obalo. Preostalo vodno telo je danes večinoma poraščeno. (Geodetski zavod Slovenije d.d., VGB Maribor d.d.)



Slika 2: Prodna bilanca profilov-primerjava geodetskih meritev 1977 in 2003 (VGB Maribor d.d.)