

# Dvodimenzijsko matematično modeliranje porušitvenega vala v ozki strmi strugi

Mario Krzyk<sup>1</sup> – Roman Klasinc<sup>2</sup> – Matjaž Četina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija

<sup>2</sup> Tehnična univerza v Gradcu, Inštitut za hidrotehniko in upravljanje z vodnimi viri, Avstrija

Posledice porušitev pregrad so največkrat katastrofalne, zato je postalo določanje maksimalnih kot vodne gladine ter hitrosti toka in čela vala obvezni del projektne dokumentacije že v fazi načrtovanja velikih pregrad. Pri obravnavi tokov v strmih gorskih strugah se običajno uporabljajo enodimenzijski matematični modeli, čeprav je polje hitrosti v primerih močno hrapavega dna izrazito tridimenzijsko. Ker se porušitveni val širi po naravnih dolinah, je treba v matematičnem modelu zajeti tudi vplive ukrivljenosti in nepravilne geometrijske oblike struge, kjer v ovinkih prihaja do izrazite razlike v gladini na nasprotnih bregovih.

Pri analizi tokov v strmih ukrivljenih strugah je treba upoštevati posebnosti toka v strugah z velikim padcem dna. Zlasti pomembna je povezava med globino, hitrostjo toka in značilnostmi dna struge, s čimer je določena izguba energije toka. Te vrednosti običajno temeljijo na bolj ali manj empiričnih povezavah. Z upoštevanjem rezultatov novih terenskih raziskav toka v strmih strugah, ki zajemajo tudi primere s padci dna struge, večjimi kot 60%, je bilo razvitih nekaj novih empiričnih enačb. Enačbe večinoma upoštevajo povprečno hitrost toka v odvisnosti od pretoka, padca dna in velikosti značilnega zrna posteljice struge. Obliko nekaterih enačb je možno prilagoditi tako, da postanejo podobne Manningovi enačbi za izračun energijskih izgub. Od novejših pristopov je treba izpostaviti enačbo, ki jo je za vrednotenje srednjih hitrosti toka v strmih gorskih vodotokih ter hudourniških strugah objavil Rickenmann (1994, 1996) in smo jo uporabili tudi pri novem matematičnem modelu.

Razvili, preizkusili in verificirali smo dvodimenzijski matematični model za simulacijo nestalnega toka v strmih geometrijsko nepravilnih strugah PCFLOW2D-ORTHOCURVE. Model je zasnovan na pravokotni krivočrti numerični mreži. Rezultate modela smo verificirali na primeru fizičnega modela vala, ki nastane zaradi porušitve dela nasipa zgornje akumulacije črpalne elektrarne Kolarjev vrh.

Izdelali smo dva matematična modela. Prvi je zajel območje akumulacije do mesta porušitve nasipa. Zaradi oblike akumulacijskega bazena z ne tako izrazito razliko med širino in dolžino smo pri modeliranju uporabili že obstoječi matematični model PCFLOW2D, ki je zasnovan na pravokotni Kartezijevi numerični mreži. Modela je povezovala krivulja izračunanih pretokov na iztoku iz akumulacije, ki je predstavljala hidrogram  $Q - t$  za dolvodno strugo. Tako smo s pomočjo modela akumulacije in rušenja njenega nasipa dobili podatke o časovnem poteku pretoka na mestu nasipa, kar smo nato v drugem modelu uporabili kot zgornji robni pogoj. Z drugim matematičnim modelom smo obravnavali tok porušitvenega vala skozi južno dolino Logarjevega potoka, za katero je značilna velika dolžina v primerjavi s širino in globino toka ter nekateri izraziti ovinki. Uporabili smo nov matematični model PCFLOW2D-ORTHOCURVE na osnovi pravokotne krivočrtne mreže.

Matematični model smo umerili na osnovi meritev globin na fizičnem modelu. Upoštevali smo modificirano Rickenmannovo enačbo ter neenakomerno razporeditev koeficienta trenja. Dosegli smo zelo dobro ujemanje z meritvami, pridobljenimi na fizičnem modelu. Povprečna odstopanja globin so do 15%. Razlike med merjenimi gladinami in rezultati izračuna se s časom manjšajo, tako da smo dosegli najboljše ujemanje na dolvodnem delu modela. Verjetni vzrok za to je precenjeni začetni pretok, kjer smo izhajali iz predpostavke o hipni porušitvi nasipa akumulacije, ki pa je bila na fizičnem modelu počasnejša zaradi ročnega dvigovanja zapornice. Na osnovi razpoložljivih informacij in vpogleda v dosegljivo literaturo je takšen model edini v Sloveniji, v svetovnem merilu pa eden redkih, ki omogoča tako široko uporabo za dvodimenzijsko simuliranje tokovnih razmer v ekstremnih pogojih naravnih strmih strug.

Pri nadaljnjem razvoju matematičnega modela PCFLOW2D-ORTHOCURVE bi bilo treba upoštevati predvsem vpliv premeščanja plavin, do katerega pogosto prihaja v pogojih strmega padca dna. Razvoj lahko teče tudi v smeri ekološkega modeliranja z namenom opravljanja izračunov transporta snovi ter biokemičnih procesov. **Ključne besede:** porušitveni val, strma ukrivljena struga, dvodimenzijski matematični model, pravokotne krivočrtne koordinate, koeficient hrapavosti, model PCFLOW2D-ORTHOCURVE