

Analiza toka v zakrivljenem kanalu z uporabo pravokotne krivočrtne numerične mreže

Mario Krzyk* – Matjaž Četina

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija

Tokovi v naravnih strmih strugah so običajno zelo razgibani, z izrazito nepravilno in spremenljivo obliko struge s številnimi ovinki. Zato je uporaba računske mreže, na podlagi Kartezijevega koordinatnega sistema, dokaj neracionalna in lahko povzroči netočnost rezultatov ter nestabilnost računskega postopka. Boljše možnosti prilagajanja obliki struge in njenemu poteku omogoča uporaba krivočrtnih koordinat. Da bi se uporabnost matematičnega modela razširila tudi na reševanje praktičnih problemov, ki zaradi morfologije dna in brežin struge zahtevajo zelo drobno diskretizacijo, smo obstoječi dvodimenzijski globinsko povprečeni matematični model PCFLOW2D, ki je zasnovan na Kartezijevi numerični mreži, dopolnili tako, da upoštevamo značilnosti krivočrtnega koordinatnega sistema. Takšen pristop ima še dve pomembni prednosti, omogoča upoštevanje centrifugalnih vplivov v ovinkih toka, zaradi boljše usmerjenosti numerične mreže v smeri toka pa se izognemo računskim napakam, ki so posledica prevelike numerične difuzije. Krivočrtni koordinatni sistem je lahko zasnovan v obliki pravokotne ali nepravokotne numerične mreže. Kot osnovo novega matematičnega modela smo izbrali pravokotni krivočrtni koordinatni sistem. Za reševanje sistema parcialnih diferencialnih enačb matematični model uporablja metodo končnih volumnov, ki jo je predlagal Patankar. Osnovne značilnosti metode so premaknjena numerična mreža, hibridna shema, ki predstavlja kombinacijo »upwind« sheme in centralno diferenčne sheme ter iterativni postopek popravkov globin.

Pred uporabo modela na primerih naravne kompleksne geometrije toka smo preverili njegovo natančnost na primeru toka v polkrožnem ovinku. Za ta primer obstaja analitično izpeljana enačba, s pomočjo katere lahko izračunamo razliko med gladinama na zunanjem in notranjem robu kanala v ovinku. Predvideli smo kanal širine 20 m, z radijem ukrivljenosti 30 m. Dno kanala je horizontalno. Da bi izničili morebitne vplive robnih pogojev na gorvodnem in dolvodnem robu kanala, je bil predviden pred in za ovinkom odsek ravnega kanala dolžine 100 m. Obravnavano področje matematičnega modela smo pokrili s 296 računskimi točkami v smeri toka in 24 točkami prečno na smer toka. V matematičnem modelu smo podali zanemarljivo majhne vrednosti koeficienta hrapavosti brežin. S tem smo izničili vpliv ostenja na tok in višino hidravličnih izgub. Analizo hidravličnih razmer v ovinku kanala smo opravili pri pretokih od 100 m³/s do 900 m³/s s korakom 100 m³/s, kar ustreza povprečnim hitrostim toka v ovinku od ca. 1 m/s do približno 9 m/s. Izračunali smo razpored globine toka v vseh računskih točkah matematičnega modela in tako dobili potek proste gladine vode v kanalu. Za vsak primer pretoka, oziroma hitrosti toka v kanalu smo določili kritično globino, globino vode na gorvodnem in dolvodnem robu ravnega kanala ter srednjo hitrost toka v ovinku, s pomočjo katere smo izračunali vrednost prečnega naklona gladine z uporabo analitične formule za izračun razlike med globinama brežin kanala v ovinku. Rezultate izračunov smo med seboj primerjali.

Ob zaključku opravljene analize toka v polkrožnem ovinku z zanemarljivim vplivom trenja ob ostenje lahko ugotovimo, da je potek proste gladine toka v ovinku odvisen od režima toka (mirni, prehodni ali deroči). Z uporabo srednje hitrosti toka v ovinku za izračun teoretične vrednosti naklona gladine smo dosegli zelo dobro ujemanje med teoretično izračunanim prečnim naklonom proste gladine v ovinku in rezultati matematičnega modela. Razlika med analitično rešitvijo in rezultati matematičnega modela v obravnavanih hidravličnih okoliščinah znaša do 4 %, upoštevajoč srednjo globino v kanalu za posamezni primer. S tem je bilo potrjeno, da je matematični model pripravljen za nadaljnje dopolnitve za analize toka v kompleksnih strmih hudourniških strugah.

Ključne besede: tok v zakrivljenem kanalu, dvodimenzijski matematični model, pravokotne krivočrtne koordinate, globinsko povprečni tok, PCFLOW2D-ORTHOCURVE