Zbornik referatov 15. Goljevščkovega spominskega dne - Proceedings of the 15th Goljevšček Memorial Day
Acta hydrotechnica 14/12 (1996), 149 str., Ljubljana

RAČUN GLADIN V OBRAŠČENIH VODOTOKIH

doc. dr. Franci STEINMAN, Primož BANOVEC
Univerza v Ljubljani, FGG - Hidrotehnična smer, Ljubljana

Povzetek

Upoštevanje načel sonaravnega urejanja vodotokov zahteva ureditev in vzdrževanje celotne zarasti na brežinah in obvodnem prostoru. Povečana zarast pa znatno vpliva na prevodno sposobnost vodotokov. Z obstoječimi matematičnimi modeli (načini) za račun gladin vodotokov lahko upoštevamo obraščenost strug le posredno, preko Manningovega koeficienta n_g. V članku so predstavljeni načini upoštevanja vegetacije pri računu prevodnosti strug po različnih avtorjih in izkušnje pri računanju gladin in prevodnosti. Prikazane so tudi nadaljne možnosti raziskav na področju računa gladin v obraščenih vodotokih ter raziskave vpliva zarasti na ostale parametre vodnega toka.
Ključne besede: *hidravlika, prevodna sposobnost, koeficient trenja, obrežna zarast*

WATER SURFACE CALCULATION IN VEGETATED STREAMS

Abstract

Aim to more natural training of river courses consequently leads towards increased vegetation in the vicinity of rivers. With existing one dimensional mathematical models for calculation of water surface, vegetation in cross-section profiles can be taken into account only indirectly through the increased value of Manning's roughness coefficient n_g. In the paper basics of the physical phenomena are explained and some experiences leading towards improved mathematical models for one dimensional calculation of water profiles. Some possibilities of further development in this field are presented and also the influence of vegetation on other parameters of water flow.
Key words: *hydraulics, hydraulic conveyance, friction coefficient, vegetation*

UVOD

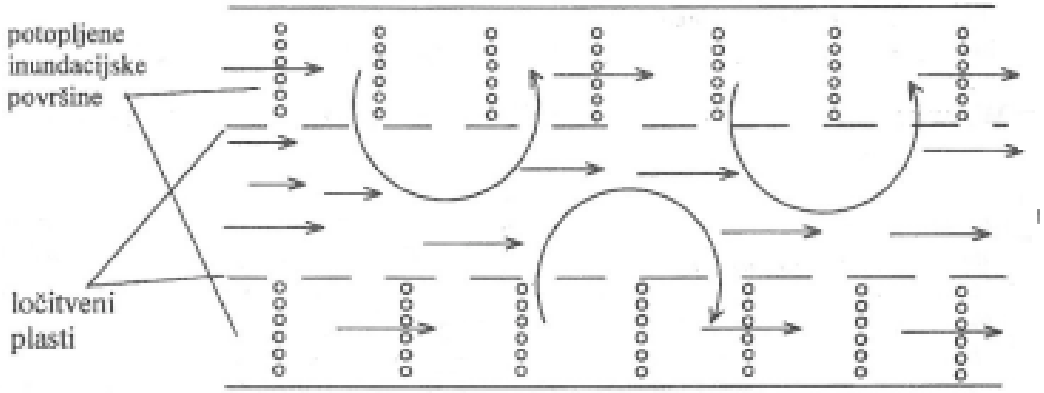
V skladu s sodobnimi trendi pri urejanju vodotokov je potrebno novim razmeram prilagoditi tudi računske postopke, potrebne za pravilno dimenzioniranje struge vodotokov. Tako predstavlja današnji sonaravni trend pri urejanju bistveno spremembo, saj namesto ravnih strug s trapeznim profilom in čiščenimi brežinami sedaj v praksi projektiramo struge, ki meandrirajo, s poraslimi brežinami in obvodnim svetom ter prečnim prerezom nepravilnih oblik. Zajemanje tako kompleksnega pojava v matematični model je zahtevna naloga, saj je za umerjanje potrebna velika serija meritev dejanskih razmer.

Dvodimenzionalni ali trodimenzionalni matematični modeli toka s prosto gladino bodo morali v prihodnje upoštevati pri računu gladin v zaraščenih vodotokih tudi obseg in porazdelitev zarasti, vendar se trenutno uporabljajo le za račun posameznih zahtevnejših detajlov. Za račun celotnih odsekov so še prezahtevni s stališča zahtevane usposobljenosti, zahtevnosti pri vnosu potrebnih geometrijskih podatkov (vključno z zarastjo) in porabljenega računskega časa. Poleg tega bi bila potrebna mreža, ki bi zajela tudi posamezne skupine zarasti (drevesa, grmovje, skupine dreves ipd.) zaenkrat še pregosta za praktično uporabo in

bi bilo zato tudi tu potrebno upoštevati precejšnje poenostavitve s stališča opisa poraščenosti področja vodnega toka.

OPIS FIZIKALNEGA POJAVA

Opazovanja (DVWK, 1991) kažejo, da na mejni ploskvi med glavno strugo vodotoka in brežinami oz. inundacijskimi površinami nastopa v splošnem mnogo večja izmenjava gibalne količine, kot je bilo do nedavnega predvideno. Nastopajoči vrtinci izrazito zmanjšujejo pretočno sposobnost vodotoka.



Slika 1. Bočno vrtinčenje med glavno strugo vodotoka in poplavnimi površinami.
(vir: DVWK)

Poenostavljeno so se te hidravlične izgube do sedaj računale z uporabo fiktivne hrapavosti med glavno strugo vodotoka in poplavnimi površinami. Ocena dodatne hrapavosti mejne ploskve je možna po različnih avtorjih na podlagi ocene in umerjanja (Mušķatirovič, 1979), ali glede na širino poplavnega območja, širino glavne struge, globino vode v poplavnem območju in glavni strugi ter koeficienta hrapavosti (Fukuhara, 1990). Sam pojav prenosa gibalne količine iz glavne struge v poplavna območja je bil tako le posredno zajet. Vpliv vrtincev (makroturbulence) na pretočno sposobnost glede na samo geometrijo prereza in razporeditev vegetacije je bil na ta način posplošen ali podcenjen.

OSNOVE MATEMATIČNEGA MODELA

Za račun pretočne sposobnosti in poteka gladin se je doslej uporabljala večinoma Manning-Stricklerjeva enačba. Za račun bolj kompleksnih razmer toka z ali brez zarasti pa so potrebni bolj kompleksni analitični postopki. To velja še posebej takrat, ko je potrebno upoštevati intenzivno izmenjavo energije med glavno strugo in inundacijskimi površinami.

Modernejši postopki zato slonijo na enačbi Darcy-Weisbacha :

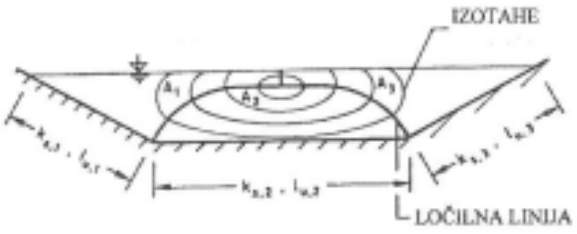
$$v_i = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\frac{1}{O_i} \sum_i \lambda_{k,i} \cdot O_{k,i}} \cdot r_{hy,i} \cdot I_e} \tag{1}$$

kjer predstavljajo:

v_i	hitrost v prerezu i,	$O_{k,i}$	omočeni obod na delu prereza, ki mu pripada $\lambda_{k,i}$,
g	zemeljski pospešek,	$r_{hy,i}$	hidravlični radij profila,
O_i	omočeni obod,	I_e	naklon energijske črte.
$\lambda_{k,i}$	koeficient hrapavosti na delu prereza k,		

Da bi lahko skupno obravnavali celoten profil, ki je sicer ločen na posamezne dele, se uporablja teorija Einsteina (1934) za določitev vpliva različnih koeficientov hrapavosti po omočenem obodu prereza. V ta namen določimo hidravlične, radije pripadajoče posamezni hrapavosti, po naslednji enačbi:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{r_{hy,1}}{r_{hy,2}} \tag{2}$$



Slika 2. Razporeditev pripadajočih omočenih obodov po enačbi (2) v trapeznem.

Za določitev koeficienta trenja dna (λ_{dna}) struge uporabimo enačbo Colebrook-White, modificirano s koeficienti (Pasche, 1984):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{dna}}} = -2.03 \cdot \log\left(\frac{c_F}{Re \cdot \sqrt{\lambda_{dna}}} + \frac{k_s}{14.84 \cdot r_{hy}} \right) \tag{3}$$

Kjer predstavlja:

Re	Reynoldsovo število,	c_F	= 4.4 v glavni strugi,
k_s	ekvivalentno hrapavost (m),	c_F	= 5.8 na inundacijskih površinah.

Ta enačba je s stališča računskega postopka zahtevnejša, a je ta pomankljivost zaradi uporabe vse hitrejših računalnikov močno omiljena. Tudi ta metoda ima omejeno področje veljavnosti, kar velja na primer za izredno heterogene prereze z močno spremenljivo hrapavostjo. V tem primeru je potrebno uporabljati dvodimenzionalne modele.

Ker so računski postopki, ki slonijo na Manning-Stricklerjevi enačbi v praksi bistveno bolj razširjeni, bo potrebno za prehod k novemu načinu računanja vsekakor daljše časovno obdobje. Pri tem bi bilo zaželjeno meritve, opravljene pri kalibriranju obstoječih modelov, uporabiti tudi za nadaljni razvoj modelov slonečih na enačbi Darcy-Weisbacha.

Modernejše raziskave (Mertens, Pasche, Schröder) upoštevajo fizikalni pojav nastanka vrtinčenja in bolje zajemajo dejanski vpliv vegetacije. S primerjavo obeh načinov računanja smo ugotovili, da je postopek Pasche-Schröder fizikalno bolje utemeljen in ima večje območje veljavnosti, zato ga bomo natančneje predstavili.

POSTOPEK PO PASCHEJU

Postopek je primeren za račun mirnega toka za postopno spreminjajoči se stalni tok (stalni neenakomerni tok vedno v mirnem režimu).

Pretok v prerezu izrazimo kot vsoto pretokov v posameznih podprofilih (inundacijske površine) in glavnem koritu. Ker je vpliv fizikalnih lastnosti (hrapavost, zaraščenost) inundacijskih površin na tokovno sliko glavne struge večji kot obratno, izračunamo najprej tokovno sliko na inundacijski površini levo in desno.

Pri tem uporabimo koeficient trenja za nepotopljeno trdno zarast, ki ga je izpeljal Linder (1982), ter preuredimo enačbe Pascheja (1984) in Schröderja (1993).

Koeficient trenja na inundacijski površini

Koeficient trenja izven osnovnega korita izrazimo kot vsoto:

$$\lambda = \lambda_t + \lambda_V \tag{4}$$

kjer predstavlja:

λ_t koeficient trenja zaradi hrapavosti tal inundacijskih površin,

λ_V koeficient trenja zaradi nepotopljene trdne vegetacije. Dobimo ga z (iterativno) rešitvijo enačb (4) do (10)

Koeficient trenja λ_V in hitrost toka preko inundacijske površine v_i dobimo (iterativno) z rečevanjem enačb (4) do (10). Koeficient trenja λ_V izrazimo z enačbo:

$$\lambda_V = \frac{4 \cdot c_{wr} \cdot h \cdot d_p}{a_z \cdot a_x} \tag{5}$$

kjer predstavlja:

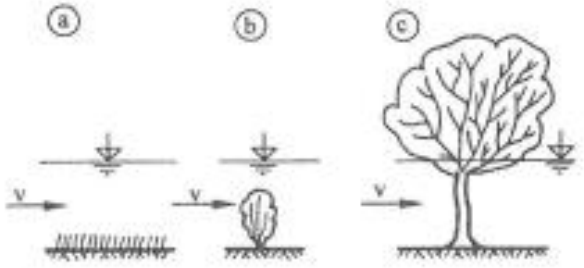
c_{wr} koeficient oblike upora serije elementov (dreves),

h globino v prerezu,

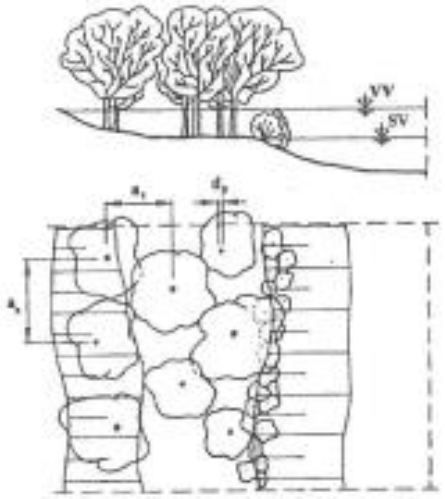
d_p povprečni premer vegetacije,

a_z povprečni razmak vegetacije v smeri z (prečno na smer toka),

a_x povprečni razmak vegetacije v smeri x (vzdolž toka).



Slika 3. Definicija tipa vegetacije
a) nizka podajna vegetacija (trava - se poleže),
b) srednja, delno podajna vegetacija (grmovje - se delno poleže)
c) potopljen le spodnji nepodajni del vegetacije



Slika 4. Primer zarasti na inundacijski površini in način opisa geometrije potopljene nepodajne vegetacije.

Po enačbi (6) lahko izrazimo koeficient c_{wr}:

$$c_{wr} = 131 \cdot c_{wo} \cdot \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^2 + \frac{2}{Fr^2} \cdot \left(1 - y^*\right) \qquad (6)$$

kjer predstavlja:

c_{wo} koeficient oblike upora enega samega cilindričnega elementa (funkcija Reynoldsovega števila),

$\left(\frac{v_0}{v_1}\right)^2$ relativno hitrost vodnega toka za oviro glede na razmak a_z in a_x,

Fr Froudovo število,

y^* razmerje globine pred in za motnjo (oviro) v toku (enačba (10)).

Relativno hitrost vodnega toka za oviro glede na razmaka a_z in a_x dobimo po enačbi:

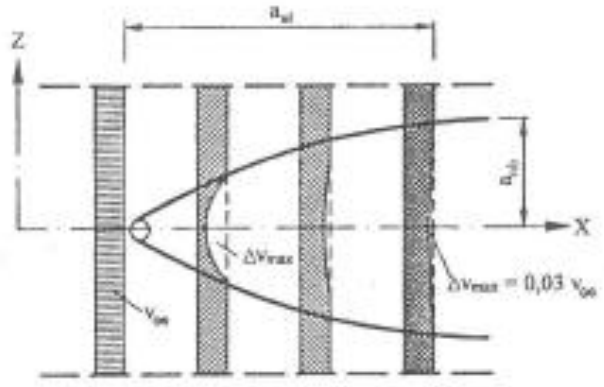
$$\left(\frac{v_n}{v_i}\right)^2 = 1151 \cdot \left(\frac{a_{nl}}{a_x}\right)^{-0.483} + 0.5 \cdot \left(\frac{a_{nb}}{a_z}\right)^{1.1} \tag{7}$$

kjer predstavljata a_{nl} in a_{nb} (slika 5) dolžino in širino vrtinčenja za oviro po enačbah:

$$\frac{\Delta v_{max}}{v_\infty} = 0.03 = 0.9 \cdot \left(\frac{a_{nl}}{c_{w\infty} \cdot d_p}\right)^{-0.7} \cdot \left(1 + \frac{g \cdot a_{nl} \cdot I_E}{v^2/2}\right)^{-3/2} \tag{8}$$

pri tem predstavljajo:
Δv_{max} največjo razliko hitrosti v prerezu v oddaljenosti a_{nl} od ovire,
v_∞ povprečno hitrost v prerezu (brez ovire) (slika 5)

$$a_{nb} = 0.24 \cdot a_{nl}^{0.59} \cdot \left(c_{w\infty} \cdot d_p\right)^{0.41} \tag{9}$$



Slika 5. Prikaz parametrov vrtinčenja za oviro v toku, uporabljenih v enačbah (5) do (10)

Razmerje globin pred in za oviro (y^*) je definirano kot:

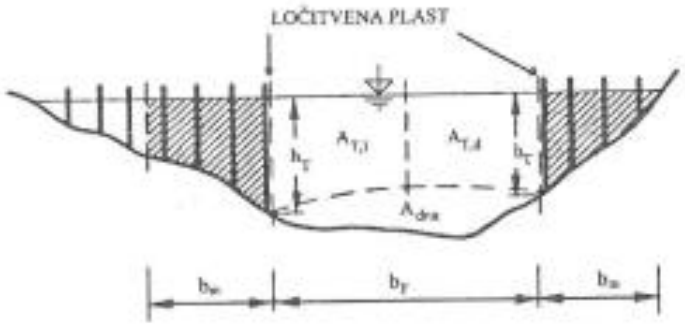
$$\left(y^*\right)^3 \cdot Fr^2 \cdot \left(1 - \frac{d_p}{a_z} \cdot \frac{c_w}{2}\right) - \left(y^*\right)^2 \cdot \left(Fr^2 + \frac{\alpha_p}{2}\right) + \frac{\alpha_p}{2} = 0 \tag{10}$$

kjer predstavlja α_p koeficient zasedenosti profila z vegetacijo:

$$\alpha_p = 1 - \frac{d_z}{a_z} \tag{11}$$

Ločitvena plast med glavno strugo in inundacijsko površino

Enačbe, ki določajo koeficient trenja λ_T za ločitvene plasti, so izpeljane na podlagi obširnih modelnih preizkusov v strugi s sestavljenim presekom (Pasche, 1984). Na ta način energijske izgube, ki jih povzroča intenzivni prenos mase in gibalne količine v primeru velikih hitrostnih gradientov, upoštevamo z dodatnim koeficientom trenja na ločitveni plasti, ki ločuje plitvejše poplavno področje od glavne struge. Pri tem je potrebno upoštevati tudi relativno širino interakcijskega območja b_m/b_{II} (slika 6), ki analogno kot hrapavost tal odgovarja določeni relativni hrapavosti. Pri tem je b_{II} običajno v prvem koraku privzet kot hidravlični radij (levega oz. desnega) dela prereza.



Slika 6. Razdelitev področij prereza z intenzivnejšo drevesno zarastjo (b_m je širina interakcijskega območja v inundacijskem delu prereza).

Intenziteta interakcije je odvisna od tega, v kateri meri sodeluje zarast, ki zavira vodni tok, pri širjenju vrtincev v inundacijska področja in do katere mere to globina vode v inundacijskem področju dopušča. Sodelujoča širina zarasti b_m (levo, desno) se izrazi z enačbo:

$$b_m = \frac{c \cdot h_T}{\lambda_I + \lambda_V} \cdot \frac{1}{\left(0.068 \cdot e^{0.56 \cdot c_T} - 0.056\right)} \tag{12}$$

kjer predstavlja:

c_T brezdimenzijski koeficient hitrosti v ločitveni plasti
$c = 1.0$ za primer skoraj vodoravne inundacijske površine
$c = 1.7$ za primer vegetacije na poševnih brežinah vodotoka

brezdimenzijski koeficient c_T definiramo kot:

$$c_T = -3.27 \cdot \log(\Omega) + 2.85 \tag{13}$$

kjer predstavlja Ω parameter zarasti glede na relativno dolžino vrtinčenja a_{nl}/a_x in relativno širjenje vrtinčenja a_{nh}/a_z:

$$\Omega = \left(0.071 \cdot \frac{a_{nl}}{a_x}\right)^{3.29} + \left(\frac{a_{nh}}{a_z}\right)^{0.95} \tag{14}$$

Tako dobimo enačbo za koeficient hrapavosti ločitvene plasti:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_T}} = -2.03 \cdot \log\left(0.072 \cdot \left(\frac{b_m}{b_F/2}\right)^{1.07} \cdot \Omega\right) \tag{15}$$

kjer predstavlja b_F širino glavnega korita.

V računu koeficienta hrapavosti ločitvene plasti upoštevamo srednjo hitrost mejne plasti (v_T), ki je drugačna kot hitrosti v inundacijskih površinah. Hitrost v inundaciji je odvisna od hitrosti vode v glavnem koritu (v_F) in brezdimenzijskega koeficienta c_T. To razmerje lahko izrazimo z enačbama:

$$v_T^{*2} = \frac{\lambda_T}{8} \cdot v_F^2 \quad \text{in} \quad v_T = c_T \cdot v_T^* \tag{16}$$

kjer predstavlja v^*_T strižno hitrost toka v ločitveni plasti.

Za osnovno korito lahko na podlagi Darcy - Wiesbachove enačbe (1) določimo hitrost in pretok (Q_F) v glavnem koritu. Pretok po celotnem profilu je tako vsota delnih pretokov:

$$Q_{TOT} = \Sigma Q_{INUND} + Q_F + \Sigma \Delta Q_{INUND} \tag{17}$$

Pri tem predstavlja $\Sigma\Delta Q_{INUND}$ pretok v inundacijskih površinah, induciran zaradi transporta mase in energije iz glavne struge:

$$\Delta Q = \frac{1}{4} \cdot b_m \cdot h_m \cdot (v_F - v_V) \tag{18}$$

Račun vodne gladine

Opisani postopek za določanje trenjskih koeficientov za tok skozi nepotopljeno, trdno vegetacijo ter interakcijo med posameznimi deli prečnega prereza je omejen na stalni enakomerni tok. Tok v vodotokih pa je neenakomeren. Zato je potrebno vpeljati še zanesljiv postopek, ki bo v račun vključeval še spreminjajočo geometrijo in naklon struge.

Osnovno enačbo za račun gladine (19) lahko izpeljemo iz diferencialne Saint-Venantove enačbe :

$$z_g = z_d + \beta\left(\alpha_c\left(y_d\right) - \alpha_c\left(y_g\right)\right)\frac{Q^2}{2 \cdot g} + \frac{\Delta x}{2}\left(I_{e,d} + I_{e,g}\right)\Big) \tag{19}$$

kjer predstavlja:

z_g koto gladine gorvodno,
z_d koto gladine dolvodno,
β koeficient izgub zaradi razširitve oz. zožitve,
α_c koeficient neenakomerne porazdelitve toka v prerezu,
I_e naklon energijske črte (dolvodno in gorvodno).

Robni pogoj pri mirnem toku je znana gladina v dolvodnem profilu, iz te pa lahko iterativno računamo gladino vode v naslednjem gorvodnem prerezu. Običajno privzamemo v naslednjem prerezu za začetek iteracije enako globino kot v predhodnem:

$$h_{i+1} = h_i \tag{20}$$

Na podlagi predpostavljene globine izračunamo parametre prerezu (i+1) in primerjamo predpostavljeni pretok z izračunanim. Iteracijo končamo, ko dosežemo zadostno ujemanje.

Koeficient izgub zaradi razširitve oz. zožitve v enačbi (19) določimo:

$$\beta = \begin{cases} 2 \cdot \dfrac{A_d}{A_d + A_g} & \text{če je } A_g > A_d \\ 1 & \text{če je } A_g \le A_d \end{cases} \tag{21}$$

pri tem je:

A_g površina gorvodnega prereza,
A_d površina dolvodnega prereza

Koeficient neenakomerne porazdelitve hitrosti po prerezu v enačbi (19) določimo:

$$\alpha_e(y) = \frac{\sum_i A_i \left(\frac{r_{hy,i}}{\lambda_i} \right)^{1.5}}{\left[\sum_i A_i \left(\frac{r_{hy,i}}{\lambda_i} \right)^{0.5} \right]^3} \tag{22}$$

Naklon energijske črte v enačbi (19) določimo:

$$I_e = \frac{Q^2}{8 \cdot g} \left[\sum_i A_i \cdot \left(\frac{r_{hy,i}}{\lambda_i} \right)^{0.5} \right]^{-2} \tag{23}$$

kjer predstavljajo:

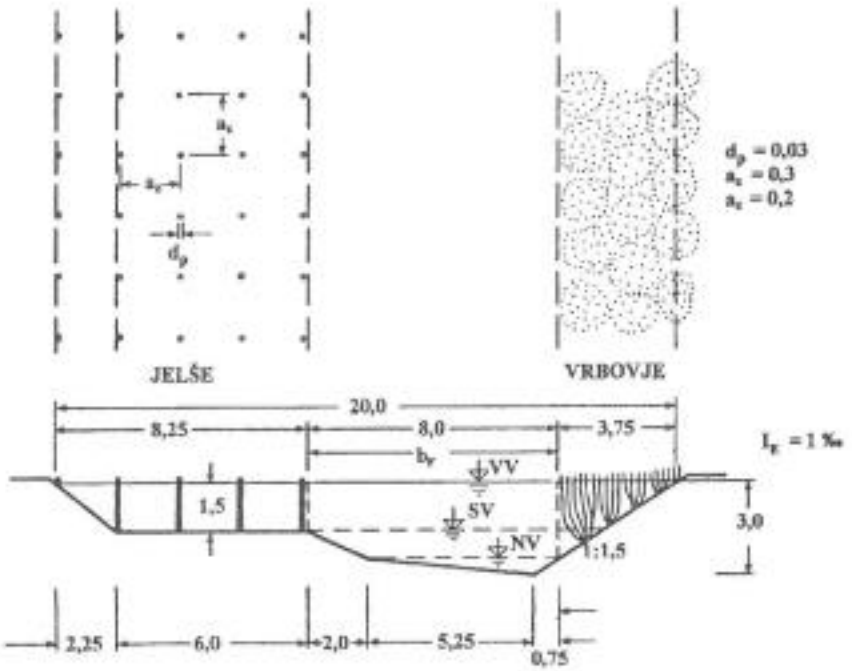
Q	pretok,
g	zemeljski pospešek,
Δx	razdaljo med prerezoma,
d	indeks za dolvodni prerez,
g	indeks za gorvodni prerez,
A_i	površino delnega prereza,
r_{hy}	hidravlični radij,
λ	koeficient trenja.

UGOTOVITVE OB UPORABI SISTEMA ENAČB ZA ENO-DIMENZIJSKI RAČUN GLADIN

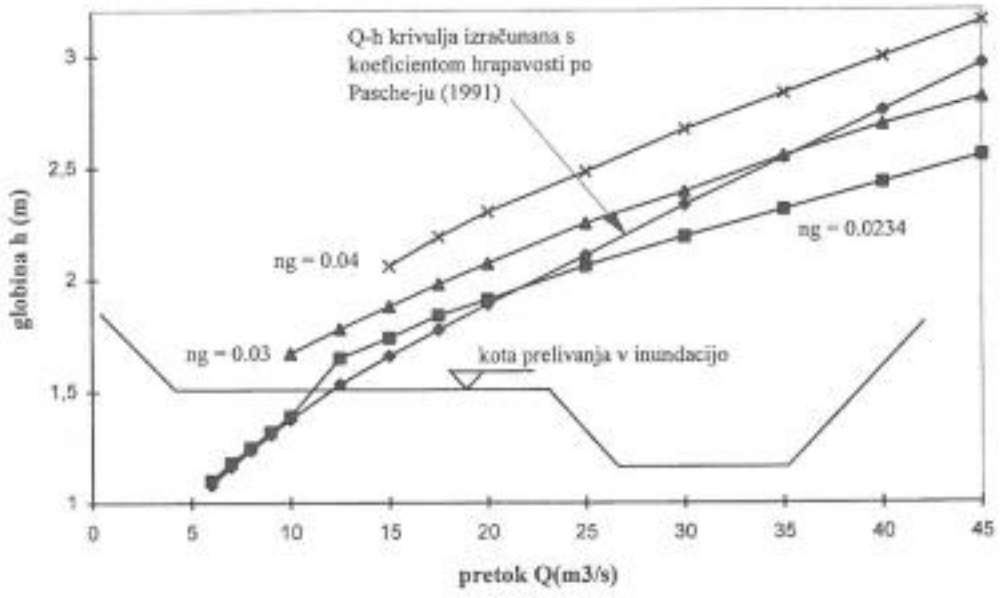
Za račun sistema enačb po opisanem postopku smo uporabljali računalniški program ESNA, razvit na Aachen University of Technology (Schröder, Jokiel, 1993). Naše meritve, izvedene septembra 1995 na Gradaščici so bile zaenkrat premalo obsežne, da bi lahko podali na njihovi podlagi zaključke o ujemanju računa gladin v zaraščenih vodotokih z merjenimi.

Vsekakor pa je teorija, na kateri sloni opisani model mnogo bližje fizičnemu pojavu, kot do sedaj najpogosteje uporabljani matematični model Ragla ali pa HEC-2.

Za nazorno primerjavo je podana Q-h krivulja, izračunana s programom Ragla (Manning-Strickler) in ESNA (Darcy-Wiesbach, možnost računa zaraščenih profilov)



Slika 7. Shematični prikaz profila uporabljenega v primerjalnem računu.
(Vir: ESNA Mannual)



Slika 8. Primerjalna Q-h krivulja.

Pri primerjavi velja izpostaviti način izračuna Manningovega koeficienta hrapavosti n_g v danem prerezu. Za tok vode v koritu (do globine 1,50 m) je upoštevan koeficient $n_g = 0.0234$, ki smo ga določili na podlagi nadomestne hrapavosti k_s.

Določitev ekvivalentne hrapavosti n_g za celoten obod v sestavljenem prerezu z različno hrapavostjo omogočajo enačbe Hortona (1933) in Einsteina-Banksa (1950) (Steinman, 1992), vendar se običajno v praksi ne uporablja, in se namesto tega določa konstantno vrednost n_g. Na sliki 8 je prikazan račun Q-h krivulje v podanem prerezu (slika 7) po metodi Pascheja in s programom Ragla, kjer smo uporabljali različne, a za posamezen račun konstantne koeficiente n_g. Ujemanje je dobro, dokler je tok samo v glavnem koritu, ko pa se preliva preko inundacijskih površin, se pojavijo večje razlike.

Določitev ustreznega koeficienta n_g za poplavne površine, ki so dostikrat zaraščene z vegetacijo, je težavna naloga, ki potrebuje vsekakor tudi umerjanje na podlagi meritev v naravi. Te meritve je potrebno izvajati v času visokih voda, saj koeficientov ne moremo enostavno ekstrapolirati na podlagi meritev opravljenih pri srednjih ali nizkih vodah (slika 8). Z metodo po Pascheju je mogoče zajeti fizične parametre motenj v celotnem območju toka (nadomestna hrapavost k_s in geometrija vegetacije). Na ta način je potrebno manj umerjanja za opravljanje računa gladin.

NADALJNI RAZVOJ MODELA IN VPLIV NA OSTALE PARAMETRE VODNEGA TOKA

Opisani matematični model (ESNA) je že izdatno preizkušen v laboratorijskih pogojih in zato bi bilo potrebno predvsem preveriti model z meritvami v naravi. Potrebno bo predvsem:

- preveriti veljavnost modela z meritvami v naravi, saj je bil model umerjen v glavnem s poizkusi v laboratorijskem merilu,
- določiti vpliv potopljene, nepodajne vegetacije - grmičevja, podrtih dreves...,
- narediti postopek vnosa podatkov in izpisa rezultatov bolj prijazen za končne uporabnike.

Kljub naprednosti modela z vidika računa vpliva zaraščenosti vodotoka in interakcije s poplavnimi površinami je nadaljni razvoj enodimenzionalnega modela omejen, saj je:

- primeren le za mirni tok na daljšem odseku,
- primeren za obravnavanje enodimenzionalnih primerov, kar zahteva dokaj homogene prereze, brez nenadnih sprememb v vzdolžnem profilu (lokalni kritični oz. deroči tok).

Zato se v tujini že izvajajo raziskave dvodimenzionalnega modelirana zaraščenih vodotokov. Pri tem gre razvoj v smeri k-ε modelov turbulence, pri čemer je zopet potrebno določiti nadomestno hrapavost.

Posebno obravnavo zasluži vpliv zarasti na transport sedimentov. Po eni strani lahko upočasnitev vodnega toka zaradi zarasti povzroči odlaganje sedimentov v rečni strugi, pojav vrtincev pa dodatno povečuje odnašanje v inundacijah. Po drugi strani pa se lahko porazdelitev hitrosti v glavnem koritu poveča (Steinman, 1992) zaradi goste obrežne zarasti, ki preprečuje prenos mase in gibalne količine iz glavnega korita na inundacijske površine. Obe posledici, tako odlaganje sedimentov kot tudi poglabljanje struge, imata lahko resne posledice, zato je tudi tem vplivom potrebno posvetiti več pozornosti.

ZAKLJUČEK

Uporaba računalnikov nam omogoča rabo vedno bolj natančnih matematičnih modelov. Razvoj pa se ne nadaljuje le pri dvodimenzionalnih ali trodimenzionalnih modelih, temveč se nadaljuje tudi na področju izpopolnjevanja enodimenzijskih modelov. Ti so za prakso še vedno dovolj natančno, hkrati pa tudi enostavno orodje za račun gladin.

Z bolj dodelanim računskim postopkom je omogočeno ustreznejše matematično modeliranje pojava, saj je omogočeno upoštevanje bolj preglednih parametrov in s tem tudi boljše razumevanje rezultatov. Strokovni razvoj bo v bodoče tudi v praksi zahteval uporabo vse bolj zahtevnih orodij, ki bodo omogočala bolje zasnovane ukrepe.

VIRI

Chow V.T. (1973). *Open-channel Hydaulics*, McGraw-Hill, 680 str.

DVWK Merkblätter 220 (1991). *Hydraulische Berechnung von Fließgewässern*, Paul Parey, Hamburg, 64 str.

Fukuhara T. (1990). Discharge assessment in Compound Channel with Floodplain Roughness, International Conference on River Flood Hydraulics 1990, Proceedings, str. 153-162

Kleeberg H.-B. (1988). *Landwirtschaftlicher Wasserbau I*, Gewässerbau - Bemessung, Universität der Bundeswehr, München, str. Ü1.1-Ü1.36

Linder K. (1992). Der Strömungswiederstand von Pflanzen beständen, Mitteilungen IW, TU Braunschweig, zvezek 25

Mertens W. (1989). Zur Frage hydraulischer Berechnungen naturnaher Fliessgewässer, Wasserwirtschaft 79/4

Muškatirović D. (1979). *Regulacija reka*, Građevinski fakultet Beograd, 430 str.

Pasche E. (1984). Turbulenzmechanismen in natürlichen Fliessgewässern und die Möglichkeit ihrer matematischen Erfassung, RWTH Aachen

Rouve G., Schröder M. (1993). One-dimensional v.s. Two-dimensional Prediction of Compound Open Channel Flow, *Advances in Hydro-Science and -Engineering*, Proceedings of the ICHE-'93, Vol. 1, Washington DC, str. 1-9.

Schröder M., Jokiel C. (1993). ESNA Manual for Users and Developers, RTWH Aachen, 46 str.

Steinman F. (1992). *Hidravlika*, Univerza v Ljubljani, FAGG, 281 str.

Steinman F., Končar B. (1993). Spremembe strukture toka zaradi obrežne zarasti v vodotokih, Mišičev vodarski dan 1993, Zbornik referatov, str. 60-69