

Određivanje protoka metodom referentne brzine

Borivoj Terek, dipl. ing.

Ipak se kreće

Mjerenje protoka na vodotocima jedna je od osnovnih aktivnosti kojima se bavi praktična hidrologija. U kombinaciji s korektnim mjerenjima vodostaja mjerenje protoka uvijek pruža cjelovitu sliku o stanju voda na nekom vodotoku. Ovakva pak mjerenja predstavljaju temelj kako za sve hidrološke kalkulacije tako i za sve aktivnosti u smislu praktičnog gospodarenja vodama. Mjerenje protoka počelo je sustavno i "stidljivo" prije više od stotinu godina u Americi, danas se obavlja na svim važnijim rijekama širom svijeta i može se reći, bez ikakve dileme, da će se mjerenja protoka, u danima koji su pred nama, obavljati trajno i permanentno. Razlozi za ovakva mjerenja su isti oni koji su se najprije pojavili i uočili u Americi, a kasnije se proširili na cijeli svijet: energetika, poljoprivreda, ekologija i vodno gospodarstvo. Razvojem društva glad za energijom svakim danom, naime, postaje sve veća slijedom čega kontrola energetske potencijala vode, s pratećom izgradnjom hidroelektrana, dobiva dodatni značaj. Potreba za bilansiranjem voda u smislu kontroliranog, intenzivnog, navodnjavanja poljoprivrednih površina prisutna je kao problem već stotinjak godina, da bi se u današnje vrijeme takva potreba samo još više aktualizirala. Saznanja o tome koje količine zagađenja rijeka može bez opasnosti primiti u sebe (i "kanalizirati" ih!), mučila su Amerikance još prije stotinu godina, davno prije nego što su uopće postojali pojmovi poput "ekologije", "održivog razvoja" ili "javnog zdravstva". Danas su ovi termini naša svakodnevnica. I konačno, na kraju, ali ne i manje važno, obrana od poplava, regulacija vodotoka, izgradnja nasipa i kanala, izgradnja hidrotehničkih struktura, mostova, brana, propusta ili preljeva, nezamisliva je bez poznavanja podataka o protocima ili brzinama strujanja vode na rijekama.

Može se, dakle, smatrati da su prva "ozbiljnija" mjerenja protoka počela u Americi prije gotovo stotinu trideset godina. Takva mjerenja među prvima je sustavno provodio William Gunn Price na rijeci Ohio, u blizini grada Paducah, Kentucky, SAD, oko 1880. godine, hidrometrijskim krilom kojeg je patentirao sam Price. Njegovo krilo, kao i kasnije razvijene inačice hidrometrijskog krila, bile su kroz slijedećih stotinjak godina praktički jedino sredstvo za mjerenje brzine strujanja vode u vodotocima. Iako za mjerenje brzine strujanja vode postoje i različiti drugi instrumenti, samo se hidrometrijsko krilo pokazalo dovoljno robusnim, a istovremeno i dovoljno preciznim instrumentom, za mjerenje brzina strujanja vode u

vodotocima u kojima se uvjeti tečenja, sasvim sigurno, nisu mogli smatrati laboratorijskim. Tek su se početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća počeli sporadično javljati prvi pokušaji mjerenja brzina strujanja u naravi primjenom akustičkih uređaja, ali je takva oprema, u to vrijeme, svoju prvu primjenu našla tek u oceanografskim mjerenjima. Prvi pokušaj mjerenja protoka na rijeci primjenom akustičkog uređaja bio je onaj kojeg su na rijeci Mississippi, kod grada Baton Rougea, Louisiana, SAD, 1982. godine proveli Christensen and Herrick. Rezultati mjerenja bili su ohrabrujući jer se u odnosu na standardna mjerenja hidrometrijskom krilom nisu razlikovali za više od 5 posto. Samo mjerenje, međutim, nije bilo moguće provesti na način kako se to ADCP uređajima radi danas - tadašnja prateća kompjuterska oprema nije bila u stanju provesti obradu mjerenja u realnom vremenu – obrada mjerenja morala se, baš kao i prilikom rada s krilom, provesti naknadno. Tijekom slijedećih desetak godina akustička se oprema znatno razvila, pa su devedesetih godina mjerenja protoka akustičkom opremom konačno mogla biti provedena na praktički isti način kako se to radi i danas. Zbog svoje jednostavnosti mjerenje protoka primjenom ADCP uređaja uzelo je danas najviše prostora u mjeriteljskoj praksi, ali su se, paralelno s razvojem ove tehnologije, razvijali i drugi postupci mjerenja protoka u otvorenim kanalima i vodotocima. Tu se prvenstveno misli na postupke akustičkih mjerenja protoka vremenom preleta akustičkog signala ili pak na elektromagnetska mjerenja protoka u otvorenim kanalima¹. Za razliku od mjerenja protoka primjenom ADCP-a potonje dvije metode mjerenja protoka za sada nisu našle svoju primjenu u mjeriteljskoj praksi u Hrvatskoj. Kako god bilo, sve su se ove metode razvile tek u novije vrijeme – prije toga naprosto nisu postojali tehnološki preduvjeti neophodni za praktičnu realizaciju takvih mjerenja.

S izuzetkom mjerenja protoka primjenom hidrometrijskog krila sve gore spomenute metode "stare" su, očito, tek desetak ili petnaestak godina. Jedna sasvim nova metoda mjerenja protoka javila se, međutim, tek nedavno – otprilike prije tri ili četiri godine. Radi se o metodi referentne brzine (engl. Index Velocity Method) koja, poput ranije spomenutih dvaju metoda, za sada još nije našla svoju praktičnu primjenu u Hrvatskoj. U nas je o njoj tek nešto malo pisalo², a kako metodu smatramo praktično interesantnom, ovdje će biti dan nešto širi prikaz osnovnih principa na kojima se metoda temelji. Zbog svoje praktičnosti metoda se sve češće susreće u svijetu mjerenja protoka, pa se, pored svog izvornog oblika, u najnovije vrijeme često javljaju i hibridne metode mjerenja protoka koje se baziraju na metodi referentne brzine. Jedna takva hibridna metoda je i metoda SIMK[®] o kojoj će u nastavku također biti riječi.

¹ Hrvatska vodoprivreda, Br. 67, Zagreb, 1998., *Mjerenje protoka u otvorenim kanalima - Ultrazvučni i elektromagnetski postupci mjerenja protoka*, str. 52-58.

² Hrvatska vodoprivreda, Br. 173, Zagreb, 2007., *Idemo na zapad*



Foto 1. Ulaz rijeke Save u Hrvatsku, moguća lokacija mjerenja protoka primjenom metode referentne brzine

Razlog postojanja

Mjerenje protoka na rijekama može ponekad biti jednostavno, ponekad i zabavno, ali će u najvećem broju slučajeva to biti težak i zahtjevan posao, a ponekad i opasan. Prilikom mjerenja s hidrometrijskim krilom provedba mjerenja je redovno popraćena sa znatnim fizičkim naporima (manipulacija s užadima, utezima i sl.) što posebno dolazi do izražaja kod mjerenja protoka velikih voda. Primjena ADCP uređaja znatno olakšava i ubrzava aktivnosti mjerenja protoka u svim režimima toka, iako se ni taj postupak – premda "pokriva" većinu slučajeva u praksi - ne može primjeniti u svim mogućim situacijama. Primjena ADCP-a je npr. nemoguća prilikom ekstremno visokih stanja voda kada, ponekad, niti njegovom uporabom nije moguće provesti mjerenje protoka bez opasnosti po ljudske živote. Praksa je, međutim, pokazala da su upravo takve ekstremno visoke vode interesantne za mjerenje protoka, jer se baš u takvim uvjetima javlja mogućnost razornih poplava, jer se upravo tada stavljaju na kušnju sve hidrotehničke građevine: mostovi, nasipi, brane i kanali. Dodatno, u uvjetima visokih voda, rijeke se redovito razlijevaju u inundacijska područja, pa se mjerenja ADCP

uređajima, iako su moguća, susreću s određenim praktičnim ograničenjima koja otežavaju samu realizaciju mjerenja. U opisanim situacijama protok je najbolje odrediti primjenom metode referentne brzine.

Kao i sve metode mjerenja protoka i metoda referentne brzine polazi od osnovnog izraza za određivanje protoka :

$$Q = A \cdot \bar{v} \quad (1)$$

gdje je:

Q – protok, m³/s

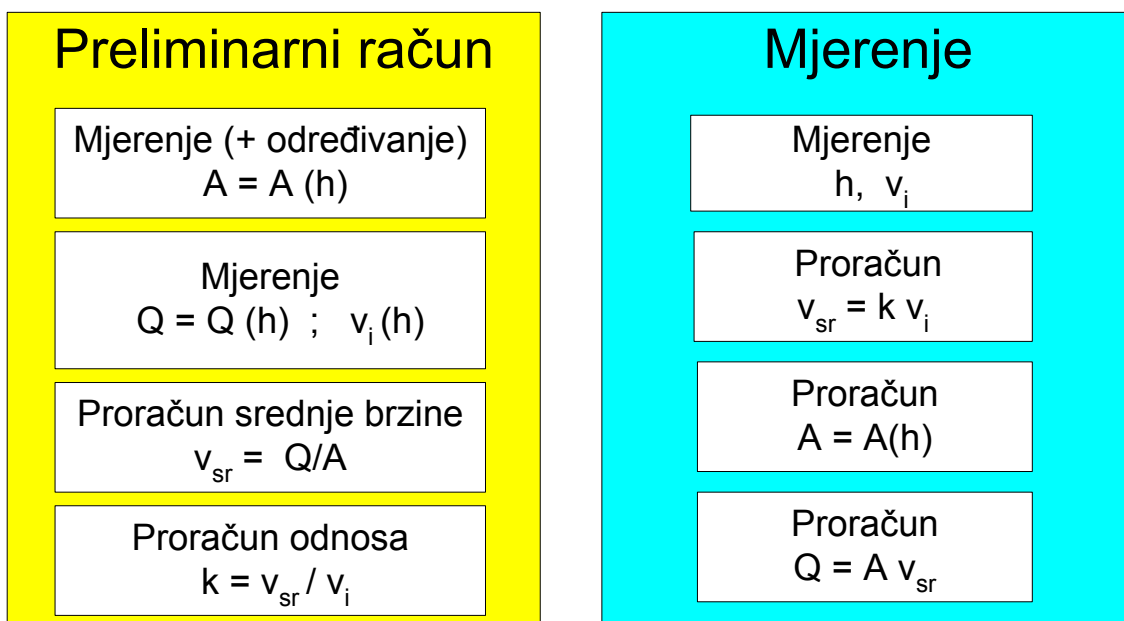
A – površina poprečnog presjeka vodotoka (proticajna površina), m²

\bar{v} – srednja brzina na presjeku (srednja profilska brzina), m/s

Izraz (1) upućuje da je, u svrhu određivanja protoka Q , potrebno odrediti površinu poprečnog presjeka vodotoka A , te srednju brzinu \bar{v} . Ranije je rečeno da izravno mjerenje ovih dvaju veličina nije uvijek moguće provesti sasvim jednostavno. Puno je jednostavnije mjeriti neke "lako mjerljive" veličine, preko njih određivati A i \bar{v} , a samim tim i protok Q . Pokazuje se da su te "lako mjerljive" veličine razina vode h (vodostaj) i neka prikladna lokalna brzina v_i , koja će ujedno poslužiti kao referentna brzina u cijelom računu protoka. Da bi se ovako postavljena ideja mogla realizirati potrebno je, prije svega, odrediti međusobne odnose među svim ovdje navedenim veličinama.

Na Slici 1. prikazana je cjelovita ideja određivanja protoka metodom referentne brzine. Vidljivo je da se postupak određivanja protoka sastoji iz dva glavna dijela. Prvi, ujedno i najzahtjevniji dio cjelokupnog postupka, predstavlja preliminarni račun. Ovaj dio proračuna se provodi kroz nekoliko sukcesivnih pripremnih koraka prikazanih u lijevom stupcu. Drugi dio metode predstavlja neposredno mjerenje vodostaja h i jedne referentne brzine v_i pomoću kojih se potom, primjenom relacija pripremljenih kroz postupak preliminarnog proračuna, srazmjerno jednostavno određuje protok Q . Očito je da je preliminarni račun bit cijele metode, da se u njemu određuju svi bitni odnosi između mjernih veličina i da ga, kao takvog, treba vrlo pažljivo provesti i pripremiti.

$$Q = A v_{sr}$$



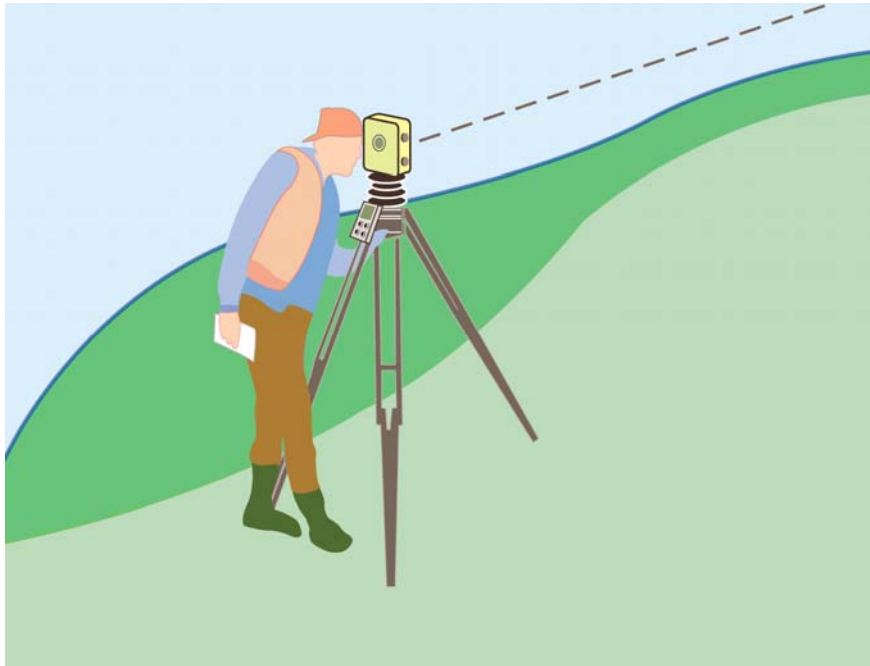
Slika 1. Postupak određivanja protoka primjenom metode referentne brzine

U središte stvari

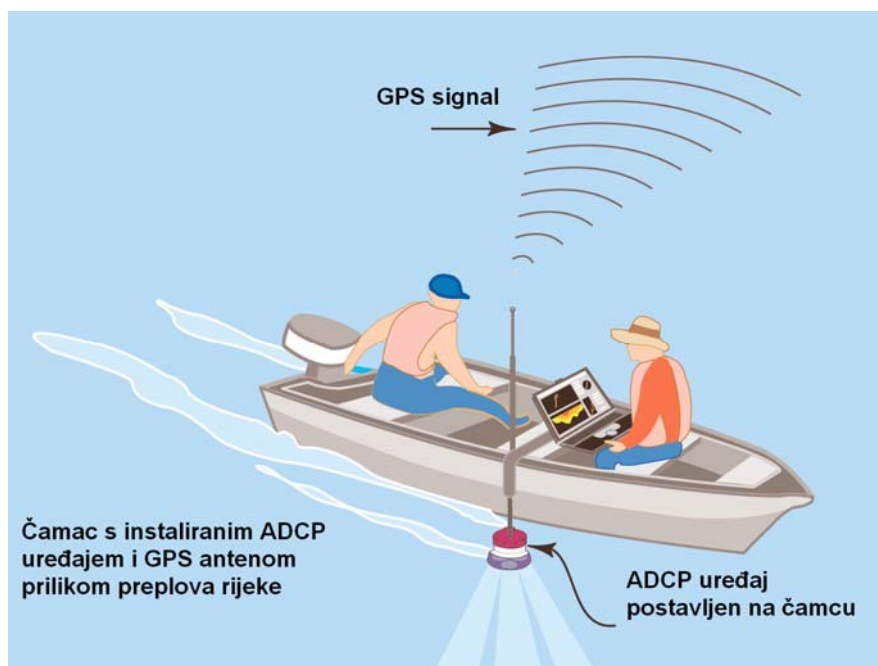
Pažljivijim promatranjem Slike 1. moguće je uočiti da sve veličine koje se ondje javljaju stoje u nekom odnosu prema vrijednosti vodostaja h . Površina poprečnog, proticajnog, presjeka vodotoka A neosporno je funkcija vodostaja (jer se iznos te površine mijenja ovisno o vodostaju). Protok Q također je funkcija vodostaja (u skladu s "klasičnim" $Q-h$ odnosom). Referentna brzina v_i pak sigurno stoji u nekom odnosu prema vodostaju, istina ne toliko izravnom (funkcijskom) kao A ili Q , ali se v_i sigurno mijenja promjenom vodostaja. Ta se veličina, uostalom, baš poput vodostaja h neposredno mjeri, pa se, kao izmjerena, može uvijek staviti u neku relaciju s vodostajem. Ovdje treba odmah napomenuti da referentna brzina v_i može biti bilo koja karakteristična brzina pogodna za neposredno mjerenje. O tome gdje mjeriti ovu brzinu bit će još govora u nastavku. Rječju, da bi metoda referentne brzine postala operativna, sve ovdje navedene relacije treba prethodno definirati i pripremiti za naknadni proračun protoka. Krenimo stoga redom.

Prilikom određivanja funkcijske veze $A = A(h)$ (relacije koja se u terminologiji metode referentne brzine naziva odnos "*razina-površina*") polazi se od mjerenja vodostaja h . Vodostaj se na mjernom mjestu može mjeriti na različite načine (plovak, tlačna sonda, ultrazvučna sonda, radar) i u pravilu se registrira kao vremenski digitalni zapis, kao

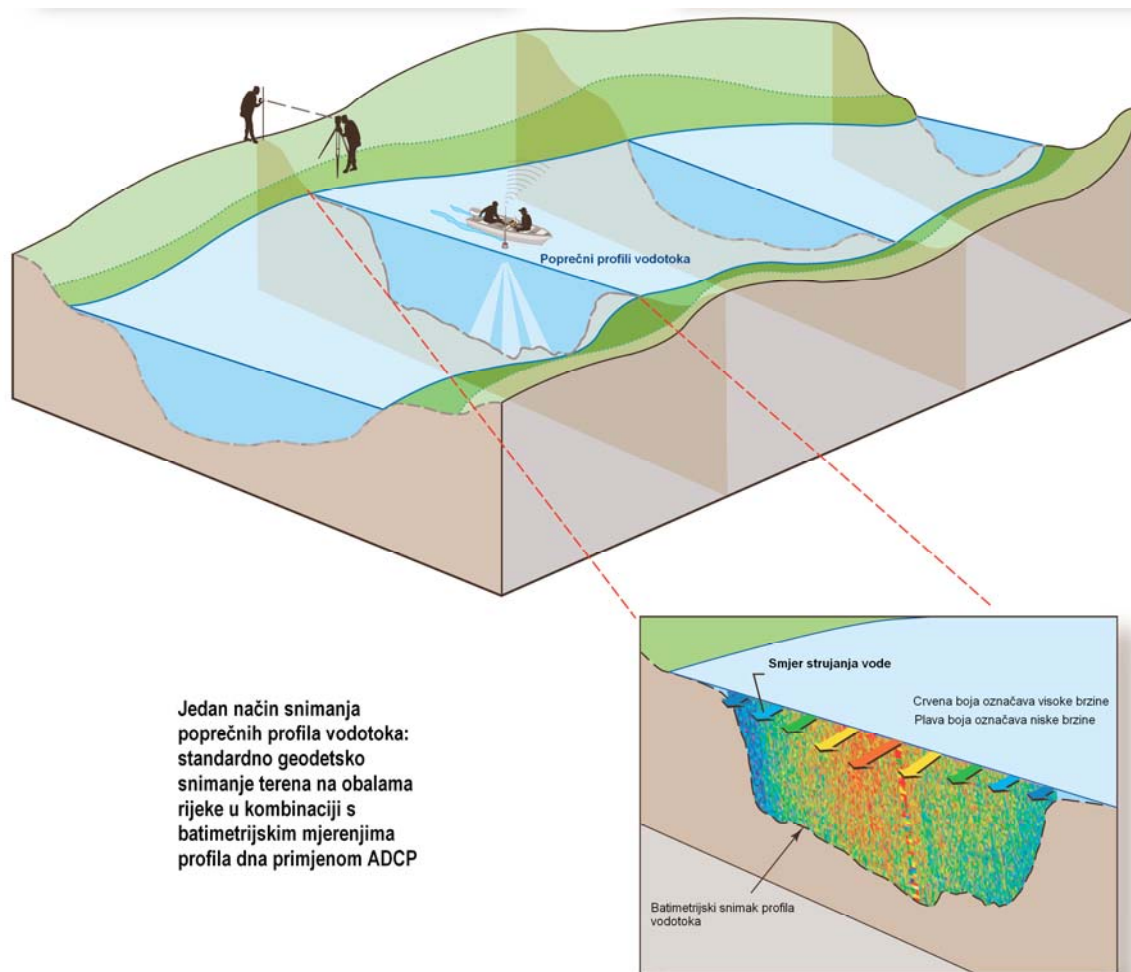
vremenska serija podataka. Da bi se definirao odnos $A = A(h)$ potrebno je još geodetski precizno snimiti cijelokupni poprečni presjek vodotoka. Nakon toga je moguće izračunati vrijednost $A(h)$, u cijelom rasponu vodostaja, čime je ujedno odnos $A = A(h)$ definiran. Geodetska snimka poprečnog presjeka vodotoka obuhvaća pritom kako snimanje terena na obalama vodotoka tako i batimetrijska mjerenja konture riječnog korita. Terenska snimanja konfiguracije obala provode se klasičnim geodetskim snimanjem terena, dok se batimetrijska mjerenja konture dna mogu provesti i primjenom ADCP uređaja, vidi Slike 2., 3. i 4.



Slika 2. Geodetsko snimanje terena



Slika 3. Batimetrijsko mjerenje konture dna rijeke

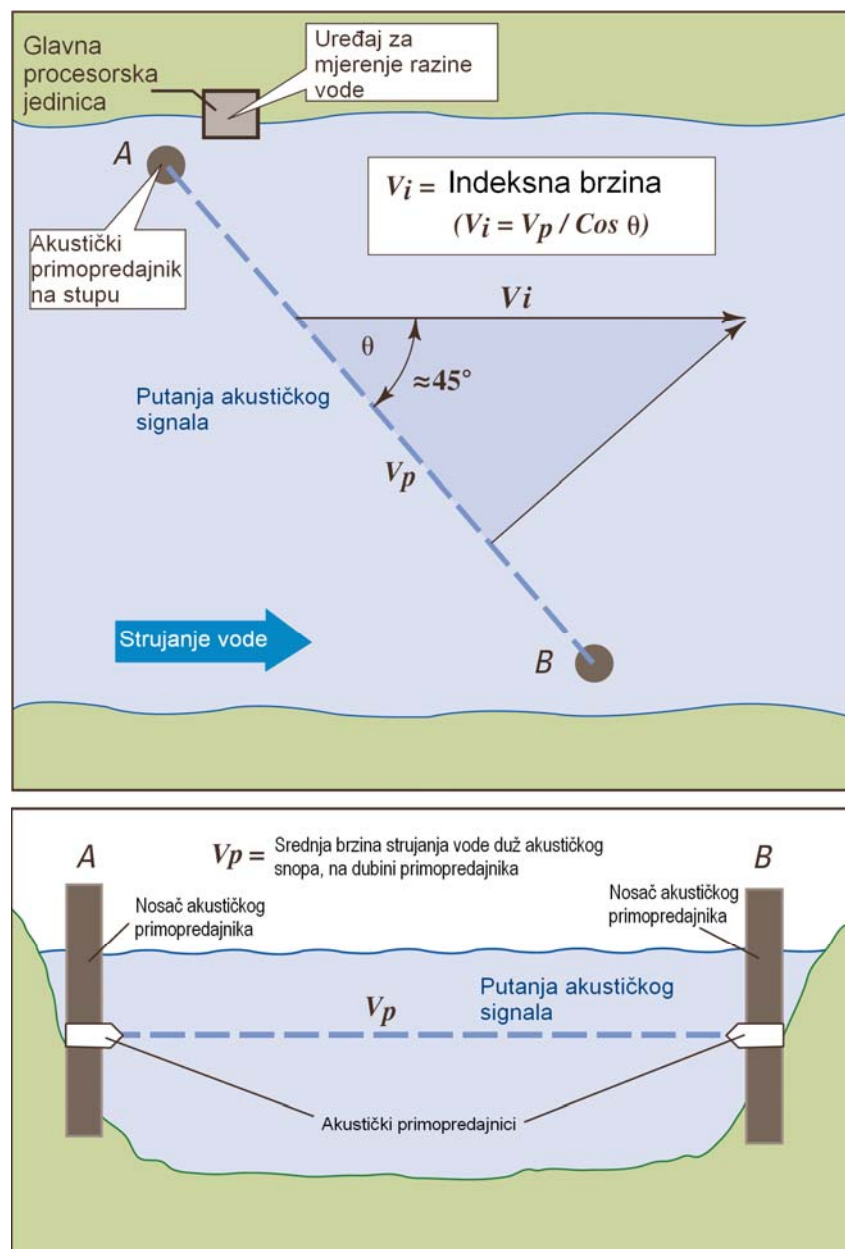


Slika 4. Snimanje poprečnog profila vodotoka

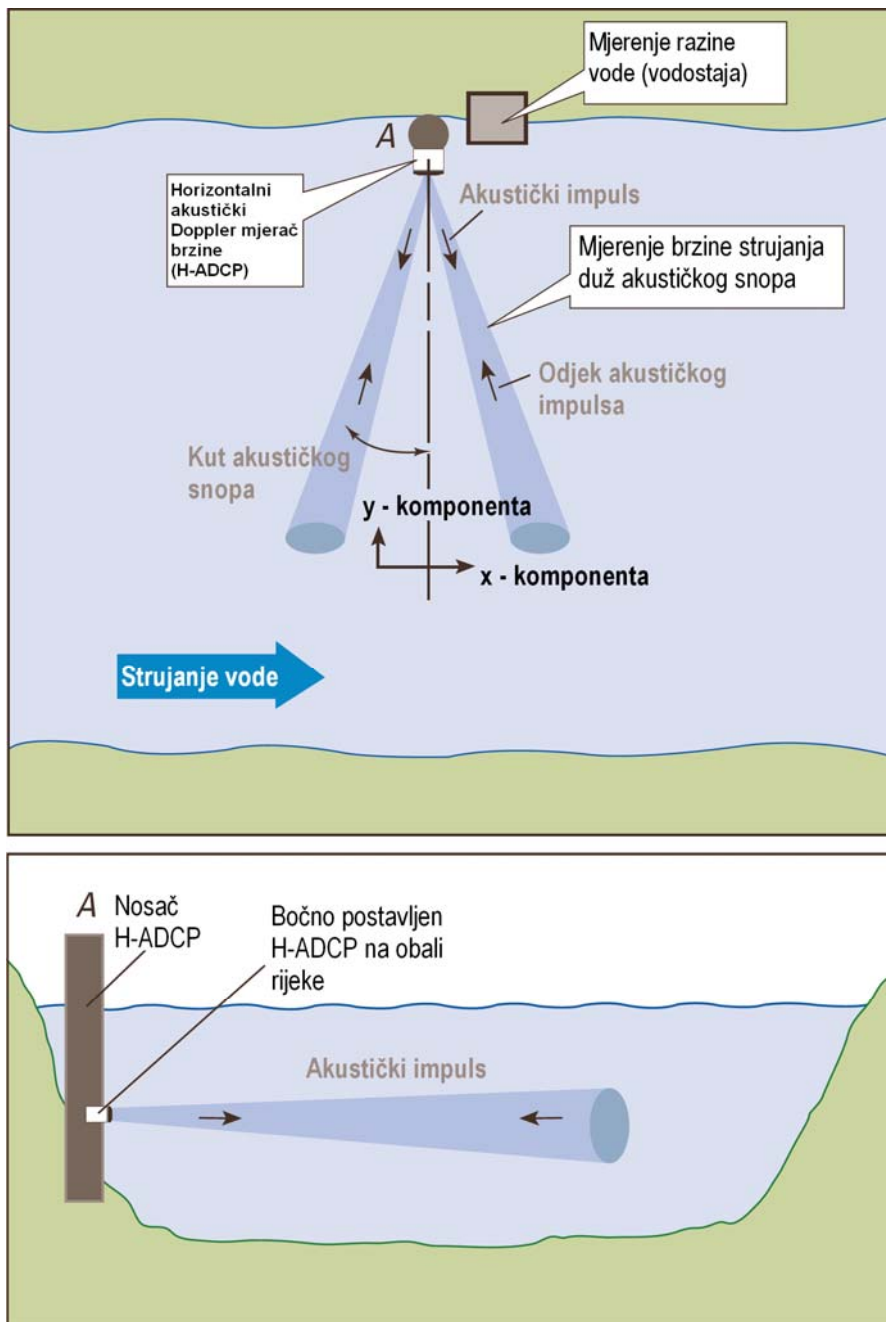
Određivanje protoka Q i referentne brzine v_i slijedeći su koraci u pripreмноj, preliminarnoj fazi. Mjerenje protoka je svima koji se bave vodama manje-više blisko: slično kao i pri klasičnoj metodi konsumpcijske krivulje protok Q je potrebno mjeriti pri različitim vodostajima h kako bi se u cijelom rasponu vodostaja ustanovila funkcijska veza $Q = Q(h)$ ("konsumpcijski" odnos). Očito je da je ovaj dio mjerenja identičan mjerenjima koja se moraju provesti prilikom definiranja klasične konsumpcijske krivulje. Metoda referentne brzine traži, međutim, i dodatno mjerenje jedne karakteristične, referentne brzine v_i - kako prilikom preliminarnе faze (da bi se uopće mogli definirali svi potrebni odnosi), tako i kasnije, u fazi samog mjerenja (kako bi se mogao izračunati stvarni protok).

Referentna brzina v_i može se mjeriti bilo kojom poznatom metodom mjerenja brzine, na bilo kojem mjestu koje je pogodno u tu svrhu. Ipak, kako bi se podaci mjerenja protoka mogli kasnije dobiti u realnom vremenu i kako bi se cijeli postupak mjerenja mogao voditi automatski i elegantno, mjerenje brzine se nikada neće provoditi npr. hidrometrijskim krilom koje, sasvim sigurno, nije pogodno za automatsku obradu mjerenja. U stvari, kako bismo bili

sasvim precizni, treba reći da se metoda referentne brzine pojavila u onom trenutku kada su se pojavili uređaji za mjerenje brzine koji podržavaju automatsku obradu podataka. Takvi uređaji su akustički uređaji za mjerenje brzine, te radarski uređaji. Od akustičkih uređaja posebno su prikladni uređaji koji brzinu strujanja vode određuju mjereći vrijeme preleta akustičkog signala, Slika 5., odnosno ADCP uređaji koji se montiraju bočno na obale vodotoka (tkzv. H-ADCP, horizontalni ADCP), Slika 6. Zbog svoje portabilnosti i lakšeg načina ugradnje na mjerno mjesto H-ADCP uređaji znatno su jeftiniji od uređaja koji brzinu vode određuju mjereći brzinu preleta signala.



Slika 5. Mjerenje referentne brzine v_i metodom vremena preleta akustičnog signala



Slika 6. Mjerenje referentne brzine v_i primjenom H-ADCP

Oba prikazana načina mjerenja referentne brzine mjere brzinu v_i u stupcu tekućine. Budući da su uređaji u kontaktu s vodom to uvijek postoji mogućnost njihova oštećenja grubim plutajućim nanosom koji voda nosi sa sobom. Ovaj problem se može eliminirati primjenom radarskih uređaja koji se montiraju tako da nisu u kontaktu s vodom (npr. uređaj OTT Kalesto). Ali tada, za razliku od akustičnih uređaja, radarski uređaji ne mjere brzinu v_i u stupcu vode već neku površinsku brzinu. Kako je to već ranije rečeno, sasvim je svejedno koja brzina će se uzeti kao referentna, pa ova činjenica nema nikakvog utjecaja na metodu kao takvu. Mjerenje referentne brzine v_i vrši se, naravno, pri svim varijacijama vodostaja

slijedom čega je moguće dobiti i odnos $v_i(\mathbf{h})$. Ovdje se još može napomenuti da se referentna brzina v_i u pravilu, slično kao i vodostaj h , registrira u formi vremenskog digitalnog zapisa, u formi vremenske serije podataka.

Sada se, konačno, mogu pripremiti odnosi koji će tijekom realizacije mjerenja trebati za proračun protoka. Sve vrijednosti računaju se u funkciji vodostaja (dakle za određeni vodostaj h). Najprije se računa srednja (profilna) brzina \bar{v} i to na način da se vrijednost protoka $Q(\mathbf{h})$ (prema ranije definiranom "konsumpcijskom" odnosu) dijeli s vrijednošću $A(\mathbf{h})$ (prema prethodno definiranom odnosu "razina-površina"). Konačno, tako određena srednja, profilna brzina \bar{v} stavlja se u odnos s referentnom brzinom v_i , naravno za svaki vodostaj posebno. Odnos $k = \bar{v} / v_i$ naziva se "indeks brzina" i kada je on definiran preliminarna faza je završena. Sada se može pristupiti mjerenju.



Foto 2. SIMK® uređaj postavljen na starom Savskom mostu, u Zagrebu

Nepodnošljiva lakoća mjerenja

Jednom pripremljeno kroz realizaciju preliminarne faze, mjerenje protoka primjenom metode referentne brzine svodi se tek na mjerenje vodostaja h i referentne brzine v_i .

Preko izmjerene referentne brzine v_i i poznatog "indeksa brzina" ($k = \bar{v} / v_i$) lako se određuje srednja, profilska brzina strujanja \bar{v} , dok se, mjereći iznos vodostaja h , može jednostavno (primjenom odnosa "razina-površina") izračunati i vrijednost proticajne površine $A(h)$. Time ujedno dobivamo sve potrebne faktore za određivanje protoka Q .



Foto 3. Potencijalna mikrolokacija mjerenja na rijeci Savi kod Savskog Marofa/Jesenica

Sunčeve pjege

Složeni uvjeti toka, potreba određivanja protoka primjenom dvojnih konsumpcijskih krivulja, potreba višestrukih očitavanja vodostaja na različitim stanicama duž toka rijeke, povratna strujanja, plimni utjecaji, pojava histereze, uspori i tečenje kroz prostrana inundacijska

područja – sve su to situacije u kojima se metoda referentne brzine može uspješno primjeniti. Danas ne postoji niti jedna druga metoda koja je to u stanju postići s takvom lakoćom. Pa ipak, iako se metoda na prvi pogled doima savršenom, i ona, poput bilo koje druge metode određivanja protoka, ima i svoje "slabe točke". Pokazuje se, štoviše, da nedostaci metode mogu biti dvojaki. Oni nisu presudni za samu metodu, u smislu da ju obaraju, ali ih ipak valja imati u vidu prije njene aplikacije. Niti Sunce, uostalom, nije savršeno – na njemu su svojevremeno otkrivene sunčeve pjege!

Prvi nedostatak metode sastoji se u tome da metoda postaje operativna tek kada se odnos "indeks brzina" definira preko cijelog područja mjerenja (dakle za sve varijacije vodostaja). To, u stvari, znači da se tijekom pripreme faze protok Q mora izmjeriti u cijelom području promjene vodostaja h , istovremeno s mjerenjem referentne brzine v_i . Ovaj niz mjerenja je sličan onome prilikom kojega se definira standardna protočna krivulja, s tom razlikom da se ovdje dodatno mjeri i referentna brzina v_i . Neki prethodni podaci mjerenja protoka se u tom smislu ovdje ne mogu iskoristiti, budući da prilikom tih prethodnih mjerenja protoka nije bila istovremeno mjerena i referentna brzina v_i , slijedom čega nije moguće definirati "*indeks brzina*" k . Tako proizlazi da se za aplikaciju metode mora prije svega provesti veliki broj mjerenja kako bi se "ulovili" svi potrebni vodostaji i režimi toka. Očito je, međutim, da se neki režimi tečenja možda uopće neće pojaviti u vrijeme pripreme same metode, odnosno da će se možda pojaviti tek nakon nekog (ne-razumno dugog) vremena. Znači li to da će se na "stogodišnje" vode možda morati čekati i stotinu godina ?

Što će se, nadalje, prilikom ovih "čekanja režima" dogoditi s površinom poprečnog presjeka A ? Ona će se, vrlo vjerojatno, tijekom vremena mijenjati, a to znači da će se uvijek morati raditi nova premjeravanja terena i konture korita vodotoka kako bi se redefinirao odnos "*razina-površina*". I tako smo ujedno poentirali i drugu "pjegu" metode: promjenu površine poprečnog presjeka tijekom vremena! Situacija bi bila znatno jednostavnija kad bi ova površina bila nepromjenjiva i stalna!

Stvari, ipak, ne treba uzimati previše katastrofično. Metoda će se moći sasvim dobro aplicirati, čak ako i nisu izmjereni protoci u svim mogućim režimima – najvažnija u svemu će biti ipak činjenica da se konfiguracija obale ne smije mijenjati dramatično. To će uvijek biti slučaj kod vodotoka s kamenim obalama ili kod velikih vodotoka gdje je dinamika promjene konfiguracije toka spora. Drastične promjene korita najčešće će se javljati tek kod gorskih rijeka i bujičnjaka. U takvim će slučajevima metodu referentne brzine doista biti teško aplicirati.

Neki novi klinci

Metoda referentne brzine ima u sebi previše potencijala da bi ju se samo tako lako odbacilo zbog njenih minornih nedostataka. Zato nije trebalo dugo čekati da se pojave rješenja za gore navedene "slabe točke" metode. Jedno od takvih poboljšanja i nadogradnje originalne metode referentne brzine je metoda SIMK[®] koju je prije koju godinu u razvio njemački hidrolog Christian Kölling.



Foto 4. Christian Kölling prilikom demonstracije SIMK[®] uređaja na Savi

Akronim SIMK[®] predstavlja kraticu punog naziva metode: "**Sim**ulacija za **k**". O kakvoj se to simulaciji radi objasniti ćemo nešto kasnije. Koeficijent **k** je i ovdje odnos srednje i referentne brzine kojeg smo gore već nazvali "*indeks brzina*".

Koje su, dakle osnovne značajke Köllingove metode? Kölling je, jednostavno rečeno, uspio na zgodan način riješiti sve "slabe točke" originalne metode referentne brzine, zadržavajući pritom sve njene prednosti. SIMK[®] metoda nije, naime, ništa drugo do hibridna metoda određivanja protoka u kojoj se protok određuje neposrednim mjerenjem kontrolnih veličina (\mathbf{h} , \mathbf{v}_i) ali uz primjenu numeričkog, hidrauličkog modela. Numerički model je, u stvari, bit cijele priče, jer se kroz njega *simulira* tok vodotoka (konfiguracija terena) ali i samo tečenje na dijelu vodotoka na kojemu se protok namjerava mjeriti. Uporabom numeričkog modela Kölling izbjegava dugotrajna mjerenja protoka pri različitim vodostajima koji su, kako je to ranije objašnjeno, neophodni za provedbu preliminarnog proračuna. Dakako da u ovom slučaju nema potrebe čekati "stogodišnje" ili bilo koje druge vode jer se sva stanja tečenja mogu modelirati (simulirati) numerički. Samim tim otpada i druga glavna slabost originalne metode – promjena geometrije poprečnog presjeka \mathbf{A} do koje može eventualno doći tijekom vremena.

Slijedom rečenog SIMK[®] metoda za ulazne parametre traži samo podatke o konfiguraciji terena. Snimka terena treba biti nešto preciznija na mjestu gdje će se naknadno mjeriti vodostaj \mathbf{h} i referentna brzina \mathbf{v}_i , dok će na ostalim dijelovima toka biti dostatni i kartografski podaci u nekoj nižoj ali prihvatljivoj rezoluciji, u pravilu digitalni, najčešće u formatu ESRI-shape datoteka. Hidraulički numerički proračun vodi se metodom konačnih elemenata.

Primjenom numeričkog modela mogu se simulirati sva stanja koja se javljaju na razmatranoj lokaciji. Tijekom numeričke simulacije prate se sve interesantne veličine koje će se naknadno javiti pri neposrednom mjerenju, a posebno vodostaj \mathbf{h} i referentna brzina \mathbf{v}_i . Slijedeći istu logiku koja je primjenjena kod originalne metode, tijekom provedbe numeričke analize uspostavljaju se svi odnosi opisani ranije ($\mathbf{A} = \mathbf{A}(\mathbf{h})$; $\mathbf{Q} = \mathbf{Q}(\mathbf{h})$; $\mathbf{k} = \bar{v} / \mathbf{v}_i$) temeljem kojih se naknadno određuje stvarni protok na vodotoku.

Ono što je neobično važno za primjenu i razumijevanje cijelog postupka je činjenica da se tijekom numeričkog proračuna, kroz simulaciju tečenja, definiraju bezdimenzionalni odnosi između svih interesantnih fizikalnih veličina. Ovi bezdimenzionalni odnosi, za danu konfiguraciju terena (za dane rubne uvjete), moraju biti i jesu isti kako u "simuliranom", numeričkom, tako i u "stvarnom" svijetu, u naravi. Zbog toga će se naknadno, mjereći stvarne kontrolne veličine u naravi (\mathbf{h} , i \mathbf{v}_i), preko navedenih bezdimenzionalnih odnosa moći odrediti i stvarni protoci. Opisani postupak sličan je fizičkom modeliranju koji se primjenjuje prilikom ispitivanja modela brodova u bazenima za tegalj ili aviona u zračnim tunelima. Ondje se također, u cilju određivanja stvarnih veličina u naravi, fizikalne veličine najprije određuju

na modelu, a potom se bezdimenzionalnim koeficijentima preračunavaju s modelskih na veličine u naravi. Jedina razlika u slučaju SIMK[®] metode u odnosu na spomenute primjere je tek u tome da se u slučaju SIMK[®] metode radi o numeričkom, a ne fizičkom modeliranju fizikalnih pojava.



Foto 5. Uređaj SIMK[®] postavljen na Savi kod Savskog Marofa/Jesenica prilikom demonstracije njegova rada

Novi list

Prilikom posjete Köllinga Hrvatskoj u travnju ove godine, kada je u DHMZ-u teoretski i praktično prezentirao svoju metodu, naučili smo i da se eventualne promjene u konfiguraciji korita rijeke neće drastično manifestirati i na rezultatima određivanja samog protoka. Preciznije rečeno - tek kod drastičnih promjena forme korita pojavit će se veće razlike u

iznosima izmjerenih protoka. Ali to će tada ujedno biti znak da se forma korita bitno promijenila i da treba pripremiti novi numerički model s novom konfiguracijom terena. Rječju, dok su rezultati mjerenja protoka međusobno konzistentni, manje promjene u formi korita neće imati upliva na rezultate mjerenja. Na koncu, može se i napomenuti da se čitav sustav može dodatno automatizirati, opskrbiti sustavom za daljinsku dojavu podataka, nakon čega su nam podaci mjerenja protoka Q , vodostaja h (pa i referentne brzine v_i , ako to nekoga posebno zanima) na raspolaganju u realnom vremenu.

Unazad nekoliko zadnjih godina u DHMZ-u su učinjeni su određeni pomaci u postupcima mjerenja - kako u segmentu mjerenja protoka, tako i u segmentu mjerenja vodostaja. U novijoj mjeriteljskoj praksi ispisana su tako u nas i neka nova poglavlja. Ipak se kreće! Ovaj proces modernizacije postupaka i opreme trenutno je u toku i, zbog svog obima, protegnut će se sasvim sigurno kroz nekoliko slijedećih godina. Međutim i pored sve instalirane i primjenjene opreme, još uvijek nemamo opremu koja ima mogućnost mjerenja protoka u realnom vremenu, što u nekim situacijama može biti vrlo interesantno i važno. SIMK[®] metoda otvara i takvu mogućnost – njenom aplikacijom podaci mjerenja protoka mogu nam doista biti dostupni i u realnom vremenu. Vrijeme je, stoga, da se okrene još jedan novi list, vrijeme je za još jedno novo poglavlje!