

## UPORABA HORIZONTALNEGA MERILNIKA HITROSTI (H-ADCP) ZA DOLOČITEV PRETOKA REK

Datum objave: 26.01.2005

mag. Roman Trček

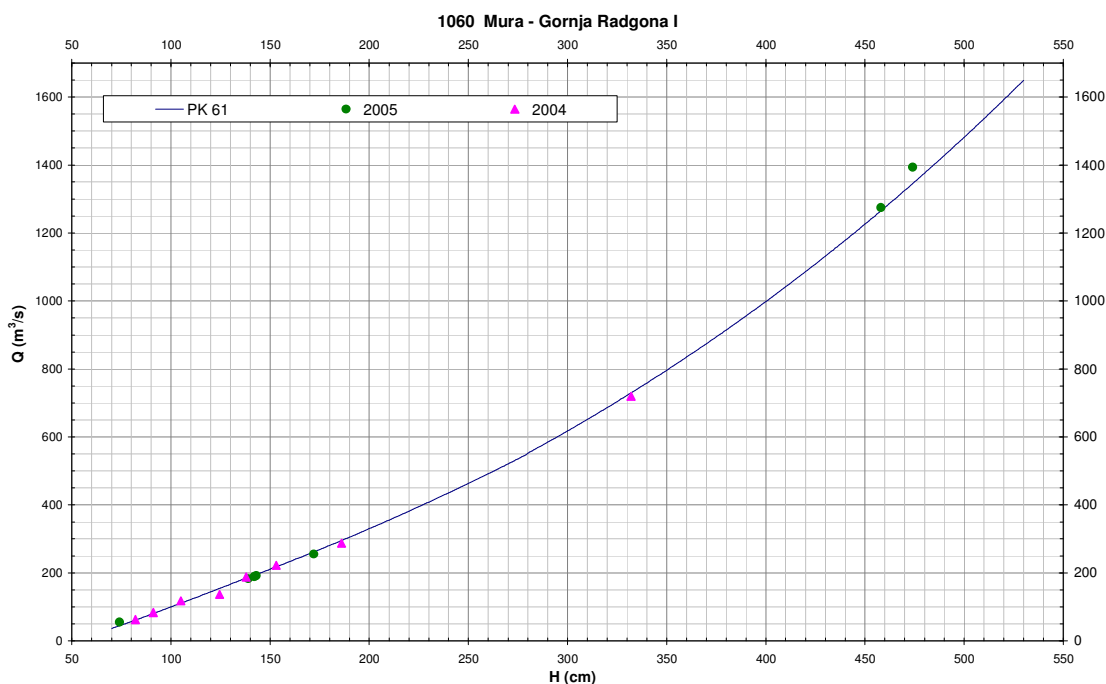
### POVZETEK

V prispevku je razložen postopek izvajanja meritev hitrosti s horizontalnim merilnikom (H-ADCP) in uporaba rezultatov za (kontinuirno) določitev pretoka v primeru nestalnega, neenakomernega toka. Na praktičnem primeru so prikazane lastnosti merilnika in primerjava z obstoječim načinom pridobivanja podatkov o pretoku.

### UVOD

S pojmom normalni tok označujemo tok s prosto gladino, kjer se hitrost časovno in prostorsko-linijsko s časom ne spreminja. Iz tega sledi drugo ime za normalni tok, t.j. stalni (časovna nespremenljivost) enakomerni (prostorsko-linijska nespremenljivost) tok. Definicija normalnega toka torej določa, da so globina, površina, pretok in hitrost v vsakem prečnem preseku na daljšem odseku vodotoka konstantne. V praksi (v naravi) je zgornji pogoj redko izpolnjen, zato se uporablja ustrezne predpostavke, da lahko uporabimo koncept normalnega toka, ne da bi v izračunih vnesli bistveno napako. V ta namen se uporablja t.i. časovne in prostorske korake, ki so (še) dovolj majhni, da izpolnijo zgornje zahteve.

Slika 1: Pretočna krivulja za določitev pretoka iz meritev vodostaja za v.p. Gornja Radgona I na reki Muri.



Eden od načinov meritve pretoka je izračun odvisnosti oz. funkcijske zveze med pretokom in gladino vode oz. vodostajem, t.i.  $Q-H$  odvisnost (Slika 1). Ta je določena iz meritev pretoka pri različnih gladinskih stanjih – višinah gladin. Bolj ko so ta stanja različna, natančnejša je določitev odvisnosti. Vsaka meritev predstavlja točko v koordinatnem sistemu, kjer je x os vodostaj in y os pretok. Skozi točke določimo krivuljo, ki se najbolj prilega meritvam, t.i. pretočna krivulja. Z njo je mogoče izračunati pretok enostavno prek meritve vodostaja. Natančnost

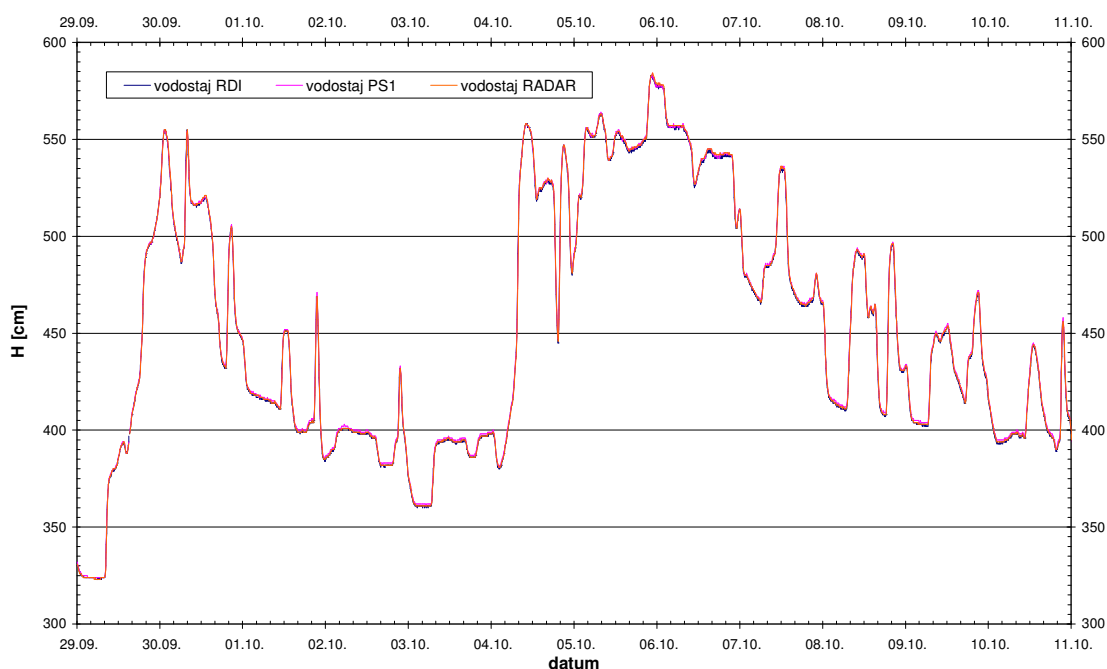


izračunanega pretoka je odvisna od natančnosti kontrolnih meritev, raznolikosti stanj, pri katerih so bile merjene, in predvsem od zadostitve pogoja normalnega toka na mestu oz. v okolici, kjer se beleži vodostaj.

Najbolj očitna lastnost normalnih tokov je enakost naklonov gladine vode, dna struge in energijske črte. Slednja predstavlja seštevek višine gladine in kinematičnega člena kot posledica hitrosti vode. Odstopanja od idealnih pogojev nastopijo tako pri vsakem porastu gladine, ki se vzdolžno gledano izraža kot t.i. visokovodni val. Če tak val spremljajo poplave ga imenujemo poplavni val. Sprememba naklonov na naravnih vodotokih v času valov je najbolj izrazita pri prehodih rek med posameznimi deli tokov - povirje oz. zgornji tok, srednji tok in nižinski tok. Najbolj znan primer iz naše okolice je npr. sprememba naklona Ljubljanice pred razlitiem na Barju. V takih primerih govorimo o naravnih zaježitvah, ki nastopijo kot posledica omejene vrednosti iztočnih količin oz. prepustnosti, npr. kraški ponori. Zaježitve so lahko tudi posledica močno dvignjene gladine vode (tudi morja), ki (lokalno) zajezi pritoke. Vse omenjene naravne pojave je potrebno vzeti v obzir pri določitvi merskih mest meritve gladin oz. pretokov po metodi  $Q-H$ .

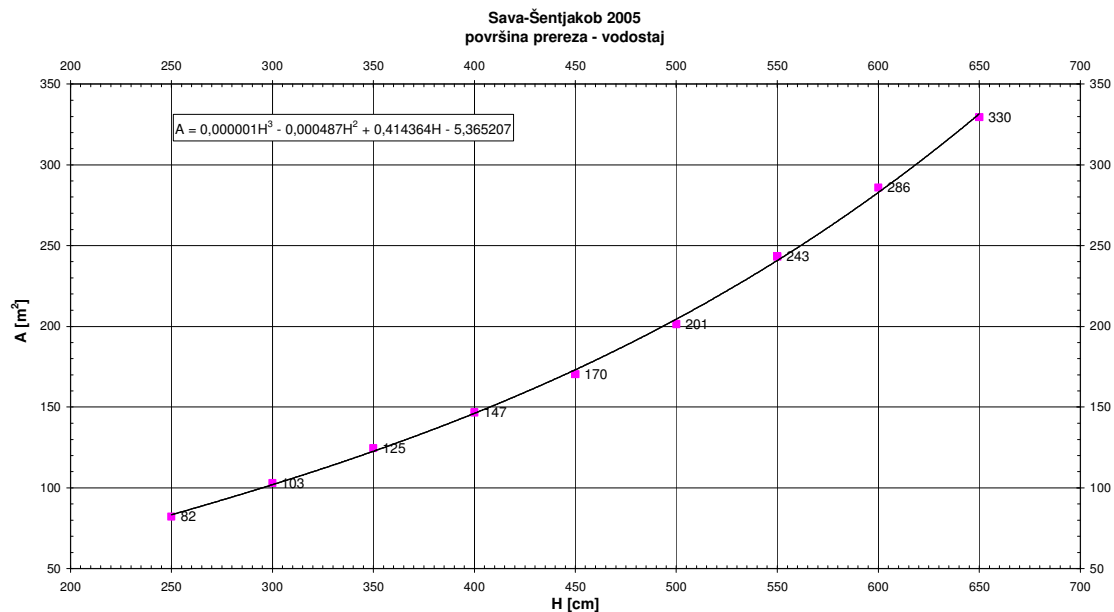
Odstopanja od razmer normalnega toka zaradi umetnih zaježitvev oz. akumulacij predstavljajo velik problem za uporabo odvisnosti  $Q-H$  (Slika 2). Stalna dnevna nihanja gladin, hitrosti ter pretoka so izdatna in hipna. Govorimo o nestalnem, neenakomernem toku. Merilna mesta za kontinuirno določitev pretokov so v takih razmerah najpogosteje v profilu zaježitvenega objekta, bodisi iztoki skozi izpuste ali čez prelive.

*Slika 2: Nivogram v.p. Šentjakob na reki Savi, kjer je vidno dnevno nihanje gladine zaradi obratovanja zapornic umetne zaježitve.*

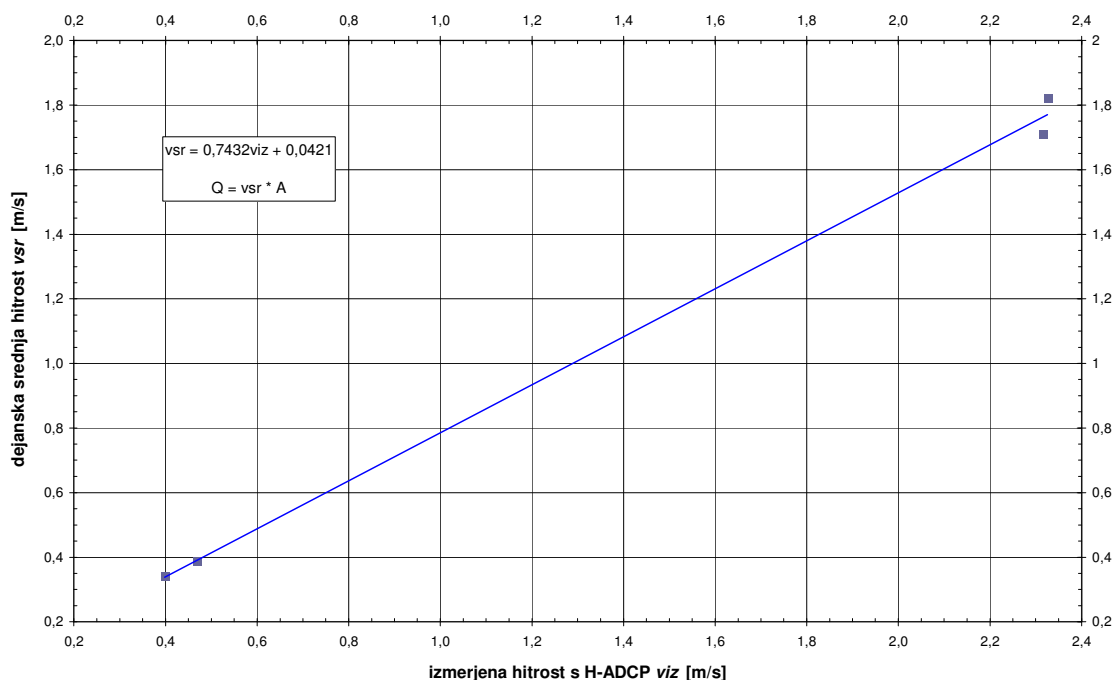


Drugi način določitve pretoka predstavlja sočasno (neprekinjeno) beleženje gladine in hitrosti vode. Na podlagi prve določimo velikost površine prečnega prereza in na podlagi druge srednjo hitrost v merskem profilu (slika 3a in 3b). Zmnožek obeh pomeni pretok. Napaka določitve prečnega prereza iz gladine vode (t.i.  $A-H$  odvisnost) je pogojena s spremenljivostjo oblike korita struge. V primeru umetnih zaježitvev je geometrija bistveno manj podvržena spremembam kot v naravnih strugah, zato je določitev površine iz gladine vode sorazmerno natančna.

Slika 3a: Odvisnost površine prečnega prereza od vodostaja v profilu postavitve horizontalnega merilnika hitrosti (H-ADCP) za v.p. Šentjakob na Savi.



Slika 3b: Razmerje med izmerjeno hitrostjo s horizontalnim merilnikom (H-ADCP) in dejansko srednjo hitrostjo, dobljeno s kvocientom pretoka in površine (vse količine veljajo za profil merjenja H-ADCP). Pretok izračunamo z zmnožkom obeh spremenljivk pri danem vodostaju, t.j. površine prečnega prereza in srednje hitrosti.



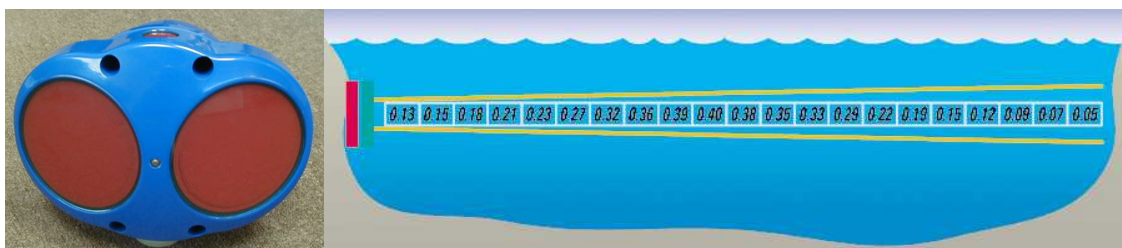
Za določitev srednje hitrosti v merskem profilu je potrebno ugotoviti odvisnost med izmerjeno hitrostjo s stalnim, horizontalnim merilcem ( $v_{iz}$ ) in dejansko srednjo hitrostjo v profilu ( $v_{sr}$ ). Slednjo izmerimo pri kontrolni meritvi pretoka tako, da delimo izmerjeni pretok (na ali v bližini merskega profila) s površino prereza v merskem profilu, ki jo dobimo iz odvisnosti  $A-H$ . Meritve pretoka v teh primerih izvajamo z namenom določitve odvisnosti med hitrostima v merskem profilu: srednjo hitrostjo in kontinuirno izmerjeno hitrostjo. Pri tem izbira metode meritve pretoka (ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler, hidrometrično krilo, krilo na megnetno indukcijo ipd.) ni pomembna. Stalni oz. kontinuirni merilec hitrosti pa je običajno horizontalni ultrazvočni merilec hitrosti (H-ADCP – Horizontal Acoustic Doppler Velocity Meter).

#### POSTAVITEV H-ADCP NA V.P. ŠENTJAKOB NA SAVI

Na v.p. Šentjakob na reki Savi prihaja zaradi verige elektrarn v zgornjem toku do nestacionarnega neenakomernega toka. V vodomernem profilu, ki se nahaja 17 km dolvodno jezu v Medvodah (zadnja pregrada je sicer v Tacnu, vendar je njen vpliv na režim zanemarljiv), je pri normalnem vodnem stanju opaziti okrog 0.5 metrsko nihanje gladine (Slika 2). Praviloma beležimo najnižje gladine zgodaj zjutraj in pozno zvečer, okrog poldneva pa nastopi edini maksimum. Naraščanje in upadanje se zgodi dokaj hitro, v dveh do treh urah. Ostali čas je gladina konstantna. V vsakoletnih visokovodnih razmerah (v daljšem časovnem obdobju se pojavijo v povprečju enkrat na leto) se lahko gladina vode dvigne za več kot 4 m, vendar zapornice na pregradi Medvode kljub temu obratujejo in ustvarjajo podoben režim kot pri normalnem stanju. V zadnjih dveh letih beležimo primer, ko je bila gladina ob suši pod 300 cm ( $H = 295$  cm, avgust 2003) ter v času deževja nad 750 cm ( $H = 780$  cm, oktober 2004) nad referenčno točko.

Meritve hitrosti preko prečnega prereza smo izvedli z merilnikom H-ADCP, podjetja Teledyne RD Instruments (TRDI) iz San Diega, ZDA. Izkoristili smo možnost izposoje merilnikov za testiranje oz. predstavitve opreme. Glede na njihov domet in geometrijske karakteristike prečnega prereza je bil iz družine, s komercialnim imenom ChannelMaster (CM), izbran merilnik s frekvenco zvoka 600 kHz (Slika 4).

Slika 4: Merilnik H-ADCP CM 600 podjetja TRDI ter ilustracija prečnega prereza struge s prikazom rezultatov meritve hitrosti po posameznih celicah oz. slojih.



Namestitev merilnika in beleženje vodostaja, hitrosti ter temperature vode je na v.p. Šentjakob potekala od 27.9. do 21.10. 2005 (Slika 5). V tem času smo bili priča hidrološko precej razgibani situaciji, tako da so meritve pokazale na kar nekaj zanimivosti glede razporeditve hitrosti na tem prerezu.

Slika 5: letalski posnetek v.p. Šentjakob na Savi s shematično vrisanima merilnima žarkoma (merilno območje H-ADCP-ja) in smerjo toka reke Save.



## REDOSLED AKTIVNOSTI ZA IZVEDBO MERITEV S H-ADCP

Testna postavitve merilnika je potekala v sledečih fazah:

- 1) meritev geometrije prečnega prereza merskega profila in navezava na geodetski posnetek brežin za določitev površine prereza pri višjih vodostajih,
- 2) namestitve merilnika H-ADCP v pravilen položaj; pomembna je globina potopitve, usmerjenost v vseh treh smereh, robustnost izvedbe,
- 3) izbira parametrov za kontinuirno izvajanje meritev hitrosti: velikost in število celic, število žvižgov v eni meritvi, število meritev za določitev povprečne hitrosti, časovna resolucija meritev (interval povprečenja); nekateri od naštetih parametrov so določeni eksperimentalno, t.j. s poizkušanjem na merskem mestu samem, pomemben parameter za določitev robnih pogojev meritev je moč signala,
- 4) po uspešno izvedenem izboru parametrov prično z zbiranjem podatkov o hitrostnih v merskem profilu,
- 5) sočasno z zbiranjem meritev hitrosti se izvajajo meritve pretoka (npr. z ADCP), zaradi možnosti motenj jih ne izvajamo v merskem profilu, ampak v neposredni bližini,
- 6) določitev razmerja med izmerjenima hitrostima, izračun pretoka iz produkta površine ter srednje hitrosti ter primerjava z izvrednotenim pretokom iz pretočne krivulje.

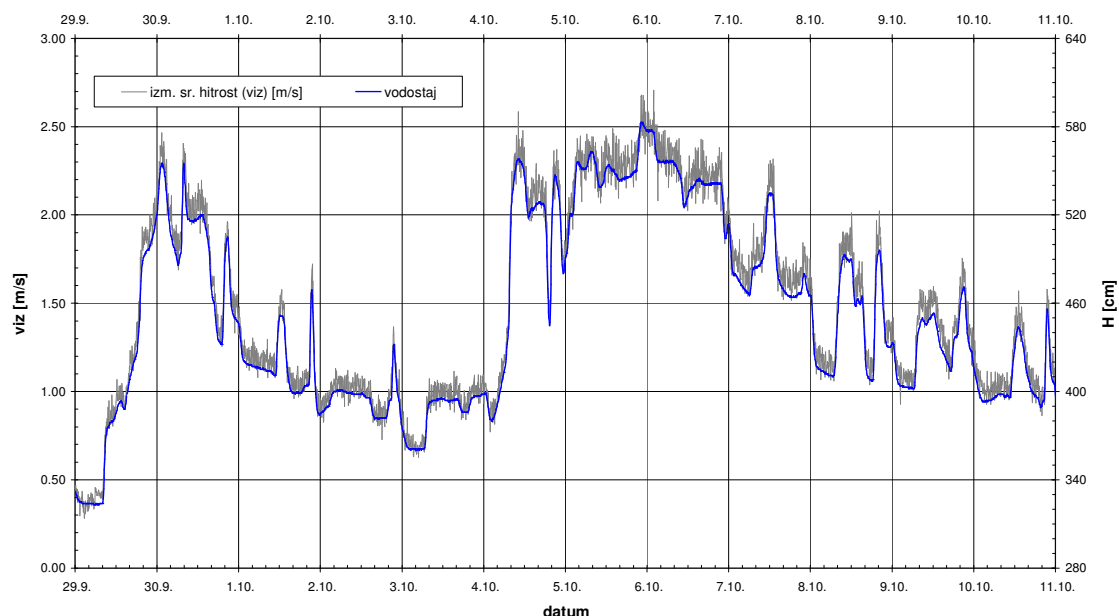
## REZULTATI MERITEV S H-ADCP IN PRIMERJAVA Z OSTALIMI SENZORJI

Kontinuirne meritve hitrosti so se izvajale na globini  $H=280$  cm v devetih celicah, velikosti 3m. Na ta način so bile meritve izvedene v razponu 6.6 do 33.6 m, gledano od desnega brega. Čas

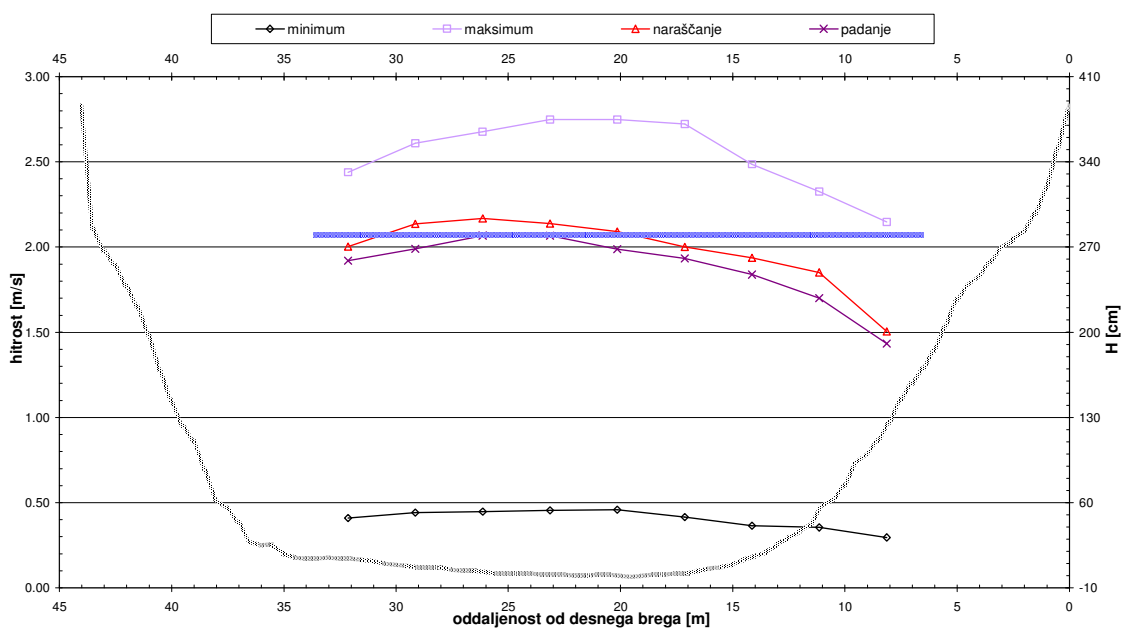


beleženja in pošiljanja podatkov je bil 5 minut. Zaradi velike količine podatkov in precejšnjih pulzacij hitrosti se bomo pri prikazu rezultatov omejili na krajše časovno obdobje.

Slika 6: Prikaz časovnega poteka vodostaja in izmerjene srednje hitrosti (povprečje meritev hitrosti v devetih celicah). Iz njega je razvidno, da obstaja neposredna povezava med gladino in hitrostjo vode, na podlagi česar lahko sklepamo, da je določitev pretoka zgolj iz vodostaja zadovoljivo natančna.



Slika 7: Razporeditev izmerjenih hitrosti s H-ADCP preko prečnega prereza na višini  $H=280$  cm za različna gladinska stanja: v času minimuma, v času maksimuma, v času naraščanja in v času upadanja.



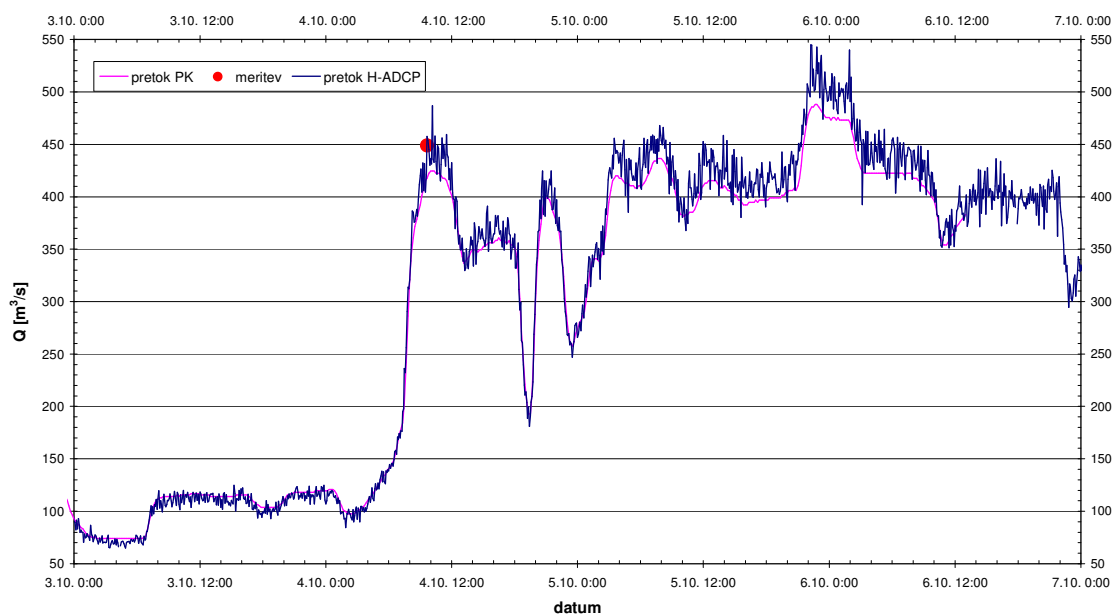
Iz primerjave rezultatov meritev gladin treh neodvisnih senzorjev, po treh metodah: RDI senzor na podlagi ultrazvočnega valovanja, radar Ott na podlagi elektromagnetnega valovanja in tlačna sonda PS1 vidimo, da je ujemanje rezultatov pri dokaj razgibani situaciji izredno (Slika 2).

Zgornji sliki (Slika 6 in Slika 7) nakazujeta, da je profil v.p. Šentjakob zelo ugoden za določevanje pretoka. Odvisnost srednje hitrosti na določeni globini od vrednosti vodostaja je praktično enoznačna, saj s spremembo enega nastopi sprememba drugega. Odvisnost hitrosti od padca gladine je zanemarljiva, kar je razvidno iz zgornje primerjave razporeditve pri različnih trendih (Slika 7).

## PRIMERJAVA PRETOKOV IN OCENA MERSKEGA MESTA

Na podlagi izvedenih odvisnosti  $A-H$  ter  $v_{iz}-v_{sr}$  izračunamo pretok ter ga primerjamo z izvrednotenim pretokom iz pretočne krivulje (Slika 8)

*Slika 8: Primerjava pretokov izvrednotenih iz odvisnosti  $Q-H$  ter pretokov izmerjenih s H-ADCP. Ujemanje je boljše pri nižjih vrednostih, pri višjih pa nam da izračun iz izmerjenih hitrosti višje pretoke kot izvrednotenje iz pretočne krivulje. Za primerjavo je dodana izmerjena vrednost pretoka.*



Boljše ujemanje dobimo pri nižjih pretokih oz. hitrostih, medtem ko so pri višjih vrednostih izračunani pretoki iz meritev s H-ADCP višji za 5% do 10%. Ker je sledenje oz. trend obeh potekov praktično enak, lahko razlike v vrednosti pripišemo dvema faktorjema: neažurni pretočni krivulji in premajhnemu številu simultanih meritev pretoka in posledično negotovi oceni razmerja med izmerjeno hitrostjo ter (dejansko) srednjo hitrostjo v merskem profilu. Glede na rezultat meritev pretoka so vrednosti pretokov, dobljene s H-ADCP, verjetnejše, zato je potrebno pretočno krivuljo (malenkostno) popraviti.

Z vidika zadostitve merskega mesta pogojem normalnega toka je v našem primeru očitno, da je določevanje pretokov zgolj na podlagi višine vodne gladine v zadovoljivih mejah natančnosti.



## UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI

Uporaba horizontalnih merilnikov hitrosti H-ADCP za potrebe meritev pretokov in primerjava z obstoječimi metodami določevanja pretokov (npr. na podlagi višine gladine) nam v prvi vrsti oceni kvaliteto merskega mesta. V našem primeru smo sklepali, da je zaradi umetnega režima gorvodno merskega profila, neujemanje s pogoji normalnega toka tolikšno, da je določitev samo iz podatka o višini vode neotova. Slednje naj bi veljalo predvsem za obdobja (vsakodnevnega) strmega naraščanja in padanja gladine. Z analizo rezultatov smo ugotovili, da je natančnost določitve pretoka na v.p. Šentjakob odvisna predvsem od natančnosti oz. sprotne kontrole pretočnih krivulj. Majhen odklon od pogojev normalnega toka za opisani primer je posledica predvsem »lepe« geometrije struge v prečni in vzdolžni smeri, brez ostrih meandrov, nepravilnosti v geometriji prečnega in vzdolžnega prereza ter enakomerna, fina sestava dna in brežin.

Namen uporabe merilnika H-ADCP je poleg kontrole obstoječih merilnih mest predvsem meritev pretoka v razmerah, kjer so pogoji izrazito nestacionarni. Tipični primer razmer v slovenskem prostoru, kjer določitev pretoka iz beleženja gladin ni mogoč, predstavlja reka Drava. Zaradi umetnih zaježitev in izkoristka potencialne energije na celotnem odseku Drave v Sloveniji je bila izbira sledeče lokacije namestitve merilnika H-ADCP logična; ukinjena v.p. Ptuj na začetku Ptujskega akumulacijskega jezera. Instalacija merilnika je bila izvedena 3.11.2005 in naj bi predvidoma trajala 2 do 3 tedne.

## VIRI

Morlock, S.E., Nguyen, H.T., Ross, J.H., 2002, Feasibility of Acoustic Doppler Velocity Meters for the Production of Discharge Records from U.S. Geological Survey Streamflow-Gaging Stations, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 01-4157, Indiana. ZDA

Teledyne RD Instruments Europe Field Service in Teledyne RD Instruments Field Service, 2005, osebna korespondenca

U.S. Geological Survey, Center for Aquatic Resource Studies, 2005, osebna korespondenca

