

MERITVE VISOKOVODNIH PRETOKOV SLOVENSКИH REK Z ULTRAZVOČNIMI MERILNIKI

High discharge measurements of Slovene rivers using acoustic profilers

Roman Trček* , Barbara Cankar** UDK 556.16(497.4)“2005”

Povzetek Abstract

Leto 2005 je bilo glede intenzitete visokovodnih razmer precej bogato. To lahko trdimo zlasti za drugo polovico leta. Izvajanje meritev pretoka v takih razmerah je posebna preizkušnja tako za opremo kakor za izvajalce. Oboji so namreč izpostavljeni določenemu tveganju, zato je potrebna velika previdnost in izurjenost. Pridobljene praktične izkušnje v takih razmerah so neprecenljive za ohranitev in zagotovitev kakovosti podatkov v prihodnosti. V prispevku bomo opisali način izvajanja meritev pretoka z ultrazvočnimi merilniki, s poudarkom na izvedbi meritev med poplavami. Praktičnim izkušnjam in priporočilom pri izvajanju meritev bodo v nadaljevanju dodani konkretni rezultati meritev visokovodnih pretokov slovenskih rek v letu 2005.

From the point of view of the intensity of high discharge conditions, 2005 was fairly rich. This is particularly true for the second half of the year. Taking discharge measurements under such conditions is a special experience both for the equipment and for the person taking the measurements. Both are exposed to certain risks, so great care and training are required. The practical experience gained in such conditions is invaluable for preserving and ensuring the quality of data in the future. The contribution describes the principle of taking discharge measurement with Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP), with a stress on taking measurements during floods. Practical experience and recommendations of taking measurements are supplemented by specific results of high discharge measurements of Slovene rivers in 2005.

Uvod

Določevanje pretokov rek poteka po različnih metodah, izbira katerih je odvisna predvsem od naravnih pogojev vodotoka, količine merjene vode ter razpoložljive merilne opreme ter želene natančnosti meritve. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) izvaja redne kontrole na mreži 200 vodomernih postaj po celotni Sloveniji. V okvir kontrole postaj spadajo tudi meritve pretokov, ki se v povprečju izvajajo šestkrat letno. Z njimi določamo oz. potrjujemo odvisnost med pretokom in gladino (Q-H), ki jo opisuje t. i. pretočna krivulja. Z meritvami enostavno zajamemo pogoste pretoke z nižjimi povratnimi dobami, redke visokovodne pretoke pa zelo težko izmerimo, zato jih pogosto ocenimo na podlagi podaljšanja (ekstrapolacije) pretočne krivulje do ekstremnih vrednosti. Prav slednji so zelo pomembni,

saj nenazadnje povzročajo poplave z veliko materialno škodo ter, na žalost, včasih tudi človeškimi žrtvami.

Meritve pretokov visokih voda označujemo kot izredne meritve. Poleg običajne kontrole pretočne krivulje so pomembne predvsem za določitev projektiranih statističnih vrednosti pretokov. Glede na časovni interval ponovitve v dolgoletnem nizu jih razdelimo na 10-letne pretoke, 50-letne pretoke, 100-letne pretoke ipd. Krajše jih označimo s Q10, Q50, Q100. Teoretično je torej verjetnost nastopa Q10 v obdobju enega leta 1/10 oz. 0,1 oz. 10 %. Če upoštevamo še čas trajanja visokovodnih razmer, ki je za slovenske reke običajno nekaj ur, ter dejstvo, da je izvedba meritev v mraku nemogoča, vidimo pomembnost sleherne visokovodne situacije za določevanje pretokov. Izrednost takih meritev se ne kaže samo v njihovi splošni pomembnosti, ampak tudi s pogoji, v katerih se izvajajo. Povečanje globine in hitrosti toka ter plavajoči predmeti, ki jih reka nosi s sabo, zmanjšujejo tako število ustreznih metod, s katerimi lahko pretoke določamo, kakor tudi izbor lokacij, primernih za izvedbo meritev.

Klasična metoda, ki se že vrsto let uporablja za

* Mag., Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Vojkova 1 b, Ljubljana, Roman.Trcek@gov.si

** Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Vojkova 1 b, Ljubljana, Barbara.Cankar@gov.si

določevanje pretokov, je merjenje točkovnih (lokalnih) hitrosti s hidrometričnimi krili. Pri tej metodi sta meritvi hitrosti in površine ločeni meritvi, z različno metodologijo. Meritev lahko izvede merilec s prečkanjem struge, lahko se izvaja iz čolna ali s pomočjo žične premostitve. Pri visokih vodah in velikih hitrostih se zaradi varnosti merilne ekipe uporablja le slednja možnost oziroma se merijo samo površinske hitrosti z mostu. Tako smo pri merjenju visokih voda s hidrometričnimi krili zelo omejeni, saj so težave s samo izvedbo meritve in varnostjo ekipe, ki meritev izvaja.

Z napredkom znanosti in tehnologije so se odprle nove, moderne možnosti meritev pretokov, ki omogočajo večje prilagajanje ekstremnim pogojem ter lažjo izvedljivost meritev. V zadnjih 15 letih so doživeli hiter razvoj merilniki, s katerimi lahko sočasno izmerimo globino in hitrost, to so akustični Dopplerjevi merilniki pretokov (ADMP). Pogosto jih imenujemo kar ultrazvočni merilniki.

Delovanje akustičnih merilnikov

Akustični merilniki pretokov delujejo na podlagi Dopplerjevega pojava, torej merijo spremembo med oddano in sprejeto frekvenco. Za potrebe meritev pretoka rek se uporablja frekvenčno območje od 500 do 2000 kHz. Hitrost vode se meri posredno, preko v vodi raztopljenih delcev. Globina se meri kot čas potovanja signala od merilnika do dna struge in nazaj. Novejši

merilniki ADMP upoštevajo poleg sprememb frekvence tudi fazni zamik odboja, kar poveča natančnost meritev in obseg merjenih vrednosti. Z enim merilnikom tako merimo v razponu globin od 0,35 m do 40 m ter hitrosti od -10 m/s do $+10$ m/s. Za meritev hitrosti je zgornja meja zgolj teoretična in v dejanskih razmerah praktično nedosegljiva.

Meritev izvajamo z gibanjem čolnička preko struge, zato mora merilnik v vsakem trenutku poznati svoj položaj. Tega določi glede na položaj pred začetkom gibanja, lastno hitrost in smer gibanja ter čas med posameznima vertikalnima meritvama. Vertikalna meritev je sestavljena iz vsaj dveh odbojev – od raztopljenih delcev in dna in jo imenujemo skupek oz. garnitura (angl. ensemble). Svojo hitrost enači merilnik s »hitrostjo« premikanja dna, ki jo zazna med gibanjem. Izmerjenemu vektorju zamenja le smisel oz. orientacijo.

Za natančnost meritve je pomembno, da je gibanje merilnika enakomerno in čim počasnejše. V realnosti zadošča hitrost od 0,2 m/s do 1 m/s. Hkrati naj bi bil zaradi večjega števila vertikal čas med posameznima skupkoma čim krajši. Ob običajnih nastavitvah znaša med 0,5 s ter 1,5 s. Ker merilnik nenehno nadzira svoj položaj, za določitev pretoka ni treba, da je gibanje čez strugo pravokotno na smer toka, niti ni pomembno, da se gibljemo v ravni črti. Merilnik namreč pretok skozi posamezen skupek sproti integrira in kumulativno prišteva oz. odšteva. Pomembna nastavitvev meritve je debelina plasti vodnega stolpca. Le-ta predstavlja časovni interval, na katerega se razdeli od delcev odbiti signal.

Zaradi potopljenosti oz. ugreza merilnika in dejstva, da je vsak od štirih oddajnikov hkrati tudi sprejemnik, dobimo na površini plast, ki je merilnik ne more izmeriti. Njena debelina znaša od 20 cm do 30 cm. Podobno neizmerjeno



Slika 1. Primer ultrazvočnega merilnika vrste WorkHorse Rio Grande 1200 kHz podjetja Teledyne RD Instrument, pritrjenega na čolniček, t. i. trimaran. Merilnik deluje na podlagi primerjanja dveh parov podatkov, za vzpostavitev kontrole izmerjenih vrednosti (foto: R. Trček)

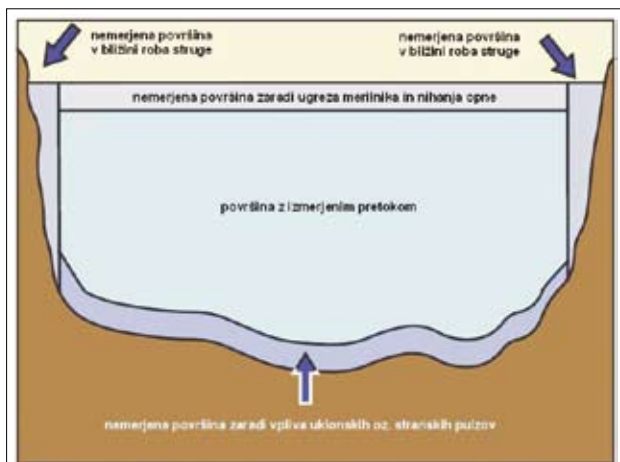
Figure 1. ADCP Workhorse Rio Grande 1200 kHz from Teledyne RD Instruments, attached to a boat, or trimaran. The ADCP uses the principle of comparing two pairs of data for establishing controls of measured values (photo: R. Trček)



Slika 2. Merilna (strojna) oprema za izvedbo meritve: radijski modem ter terenski prenosnik za sprotno kontrolo podatkov (foto: R. Trček)

Figure 2. Measuring equipment (hardware) for taking measurements: radio modem and field transmitter for simultaneous control of data (photo: R. Trček)

območje zaradi motnje uklona zvočnega žarka nastane tudi ob dnu struge. Debelina območja v tem primeru znaša 6 % globine vode. Neizmerjeni del predstavljata tudi oba robova struge, zato moramo na začetku in na koncu meritve oceniti oddaljenost od bregov. Pretok skozi neizmerjene dele prištejemo k skupnemu pretoku z uporabo interpolacijskih oz. ekstrapolacijskih metod.



Slika 3. Prikaz neizmerjenih površin prečnega prereza pri meritvi pretoka z ADMIP

Figure 3. Unmeasured areas in a typical ADCP discharge-measurement cross section.

Metodologija izvajanja meritev pretoka visokih voda

Izbira merskega mesta je pogojena z možnostjo prečkanja struge z merilnikom. Ob visokih vodah je to zelo težko, saj je peš prehod struge praktično nemogoč. Najpogostejši



Slika 4. Prehod struge z gumijastim čolnom. Ob visokih vodah se uporablja motorni pogon (foto: M. Burger)

Figure 4. Crossing the current in a rubber boat. Motor drive is used in the case of high discharges (photo: M. Burger)



Slika 5. Izvajanje meritev z mostu. Zaradi varnosti se občasno uporabljata dve vrvi (foto: R. Trček)

Figure 5. Taking measurements from a bridge. Two ropes are sometimes used for safety (photo: R. Trček)



Slika 6. Zaradi hidravličnih značilnosti mostnih opornikov je potrebno meritve pogosto izvesti na protitočni strani mostu, z dvema vrvema – reka Jezernica, iztok iz Divjega jezera, 12. 8. 2005 (foto: R. Trček)

Figure 6. Because of the hydraulic characteristics of bridge piers, measurements must often be taken on the up-stream side of a bridge, with two ropes – River Jezernica, outflow from Divje jezero, 12.8.2005 (photo: R. Trček)

načini izvajanja prehodov, ki se uporabljajo na ARSO med meritvami visokovodnih pretokov, so:

- prehod s čolnom, merilnik se vodi na vrvi za čolnom (slika 4),
- prehod preko mostu, meritve se izvajajo z eno vrvjo (v ekstremnih razmerah še varovalna vrv) na sotočni oz. nizvodni strani mostu – uporaba pri širokih vodotokih (slika 5),



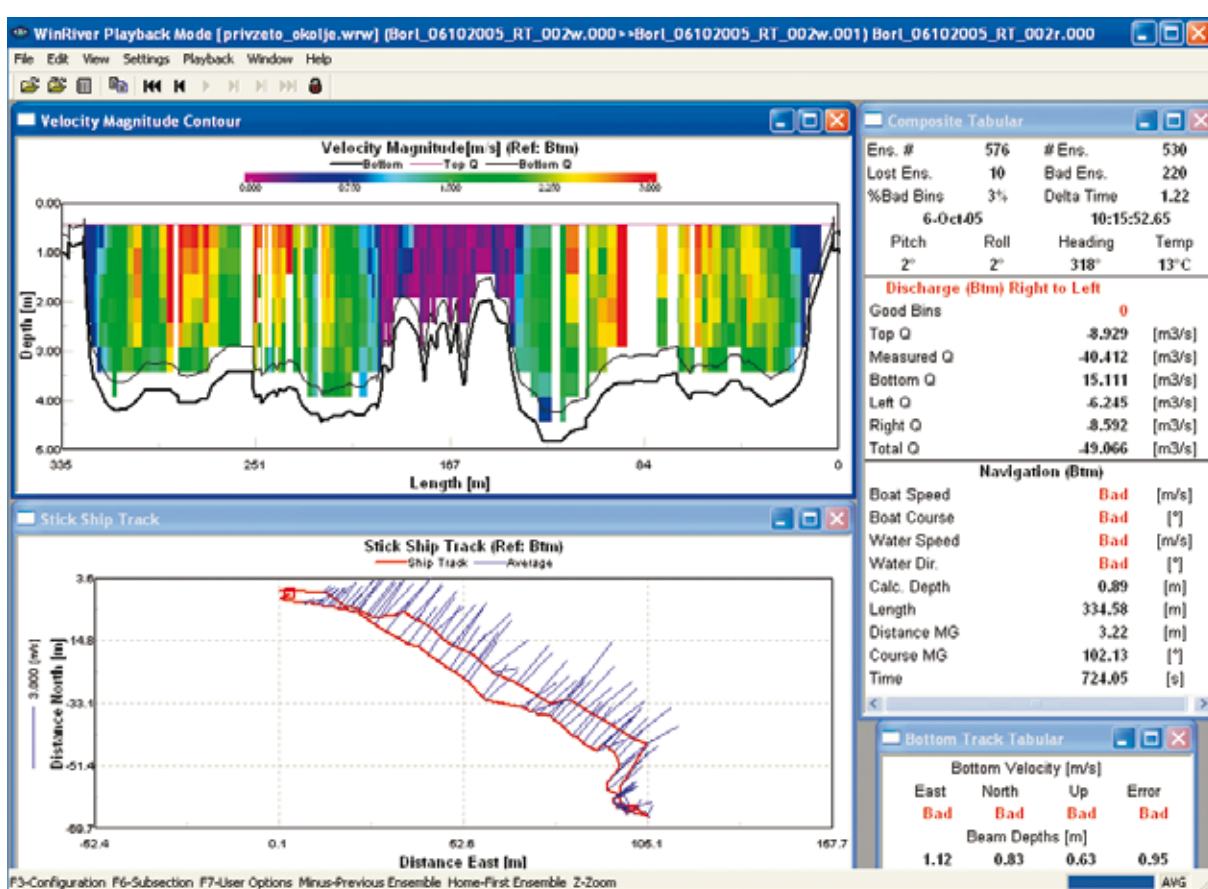
Slika 7. Prehod struge se na nekaterih vodomernih postajah izvaja z žičnimi premostitvami (foto: M. Burger)

Figure 7. Crossing the stream at some hydrometric stations is done with the aid of a cableway system (phot: M. Burger)

- prehod preko mostu, meritve se izvajajo z dvema vrvema, vsaka na svojem bregu, zaradi boljših hidravličnih pogojev se izvajajo meritve na protitočni oz. vzvodni strani mostu (slika 6),
- prehod z žičnimi premostitvami čez strugo reke, kjer v bližini ni primerne premostitvenega objekta (slika 7).

Zaradi metodologije merjenja pretokov z ADMP, po kateri določamo hitrost (dejansko) v eni sekundi, moramo izvesti več prehodov struge. Na ta način ugotovimo vpliv pulzirajočih hitrosti (mikro vrtinci) na skupni pretok. Minimalno število prehodov je odvisno od hidravličnih razmer v prerezu in je določeno na podlagi preskusov oz. preteklih izkušenj na posameznem merilnem mestu. Pri stabilnih, enostavnih in lepo oblikovanih prečnih prerezi zadostujeta že dva prehoda, drugod pa najmanj trije. Končna vrednost pretoka je povprečje izbranih prehodov.

Programska oprema omogoča, da lahko ves čas izvajanja meritev spremljamo kakovost pridobljenih podatkov. Številni številčni in grafični prikazi (vrednosti pretokov, razporeditev hitrosti, oblika prečnih prerezov) omogočajo,



Slika 8. Programska oprema za izvajanje meritev pretoka, v našem primeru merske zanke. Zgornji del slike predstavlja prečni prerez, spodnji pa potek gibanja čolna s srednjimi hitrostmi po vertikalah

Figure 8. Software for evaluating discharge measurements, in this case measurement loop. The upper part of the picture represents the cross section and the lower part the movement of a boat with medium speed along the verticals



Slika 9. Merski profil na reki Dravi v Borlu, 6. 10. 2005 (foto: R. Trček)

Figure 9. Discharge measurement cross section on the River Drava in Borl, 6.10.2005 (photo: R. Trček)



Slika 11. Merilno mesto na J Planinskega polja – reka Malenščica v Malni, 5. 12. 2005 (foto: R. Trček)

Figure 11. Discharge measurement cross section in south Planinske polje – River Malenščica in Malni, 5.12.2005 (photo: R. Trček)

ADMP je, da lahko nekatere nepravilnosti opazimo že med samo meritvijo, ugotovimo njihov vzrok in napako odpravimo.

Praktične izkušnje in rezultati nekaterih meritev v letu 2005

da že med oz. takoj po izvajanju meritve opravimo prvo in najpomembnejšo analizo. Ob kakršnih koli nejasnostih in dvomih v rezultat lahko po potrebi izvedemo dodatne prehode in s tem povečamo zanesljivost meritve. Na ta način močno zmanjšamo število grobih, slučajnih napak, ki so posledica neustreznega merskega mesta, neizkušenosti ekipe ipd. Največja prednost meritev z



Slika 10. Valovanje gladine in velika hitrost, običajna spremljevalca visokih voda – reka Drava v Ormožu, 6. 10. 2005 (foto: R. Trček)

Figure 10. Wavy surface and high speed, normal accompaniments of high waters – River Drava in Ormož, 6.10.2005 (photo: R. Trček)

Osnovni parametri meritev pretokov so *širina* in *globina* struge ter *hitrost* toka. Kadar ima kateri koli od njih posebej visoko vrednost, moramo biti že pred izvajanjem meritve previdni, predvsem pri izbiri merskega mesta. Ob visokih vodah, ko sta povečana dva ali celo vsi trije, je možnost težav velika. Voda se pogosto prelije čez bregove na poplavna območja in v običajnih razmerah ugodna merilna mesta se lahko bistveno poslabšajo. Eden od pojavov, ki dodatno otežuje meritve v času visokovodnih stanj, je prodni premik oz. gibanje dna struge. Posledica gibanja dna je napaka pri določitvi hitrosti (in smeri) gibanja merilnika in posledično nepravilne določitve hitrosti vode. Za oceno (povprečne) hitrosti gibanja dna izvedemo t. i. mersko zanko (slika 8). Merilnik pripeljemo na isto mesto (na istem bregu), s katerega smo pričeli izvajati meritev. Razdalja, ki jo je merilnik (navidezno) zaznal po koncu zanke, predstavlja seštevek premikov dna v območju merske zanke (na sliki 8 označeno kot *Distance MG*). Seštevek premikov delimo s časom izvedbe merske zanke in kot rezultat dobimo povprečno hitrost gibanja dna. Ob predpostavki, da je smer gibanja dna vzporedna smeri srednje hitrosti, obe veličini preprosto seštejemo. Rezultat predstavlja zadovoljivo oceno dejanske (srednje) hitrosti vode. Dodatno težavo pri izvajanju meritve lahko predstavlja zaraščeno dno ali poplavna ravnica, zato se poskušamo takim merskim mestom izogniti.

Vodotok	Vodomerna postaja	Datum	Pretok [m ³ /s]	Srednja hitrost [m/s]	Maks. hitrost [m/s]**	Maks. globina [m]	Širina [m]	Način izvedbe
Idrijca	Hotešček	12. 8. 2005	109	1,81	3,02	2,45	38,9	z mostu
Jezernica	Divje jezero	12. 8. 2005	52,6	1,23	2,87	1,83	28,8	z dvema vrvmema
Mura	Gornja Radgona	22. 8. 2005	1300 - 1500*	2,5 - 3,0	4,93	5,66	114	z žično
Mirna	Jelovec	22. 8. 2005	58,9	1,92	3,39	2,99	14,9	z dvema vrvmema
Sava	Čatež	22. 8. 2005	1100	2,44	4,02	5,72	97,7	z mostu
Drava	Ormož	6. 10. 2005	1500	2,54	5,13	7,04	132	z mostu
Drava	Borl	6. 10. 2005	857	1,96	3,69	4,71	125	z mostu
Sava	Okroglo	6. 10. 2005	344	2,36	3,78	4,07	56,8	z žično
Malenščica	Malni	5. 12. 2005	9,56	0,18	0,86	3,18	45,4	z dvema vrvmema
Idrijca	Podroteja	5. 12. 2005	174	2,47	3,98	4,02	23,0	z brvi

Preglednica 1. Osnovni parametri nekaterih meritev visokovodnih pretokov v letu 2005 ter način izvedbe
Table 1. Basic parameters of some measurements of high discharges in 2005 and method of taking them

* vrednost pretoka (v obliki min – max), pridobljena kot produkt izmerjenih hitrosti in ocenjene površine prečnega prereza na podlagi kasnejših meritev
** točkovne maksimalne vrednosti hitrosti (po posameznih plasteh)

Visokovodne pretoke spremljajo valovanja gladine višine 1 m in več ter vrtninčasti tokovi, ki predstavljajo ekstremne razmere tudi za merilno opremo. Delovanje v takšnih pogojih ni optimalno in nepoznavanje metode merjenja in parametrov, ki vplivajo na njeno kakovost, lahko privede do netočnih rezultatov.

Merilno mesto izbiramo predvsem glede na dostopnost in možnost izvedbe. Poiskati moramo prečne prereze, kjer so razlitja čez rečno strugo čim manjša. Ob visokih vodah izvajamo meritev z metodo dveh vrvi, z vodenjem ADMP z mostu ali z žičnimi premostitvami, postavljenih čez strugo. Metoda dveh vrvi je mogoča, kadar je v bližini most za prehod na drugo stran reke. V praksi se zaradi nevarnosti zapleta vrvi s plavjem in velikih hitrostih vode ta uporablja samo na prerezih, ožjih od 50 m. Kadar je širina struge primerna, lahko vrv na nasprotni breg tudi vržemo. Merilnik pomikamo preko struge z vlečenjem vrvi v eno in drugo smer. Potek vlečenja mora biti čim bolj enakomeren in zvezen.

Sklepne misli

Meritve visokovodnih pretokov in gladin omogočajo pridobitev podatkov, odločilnih pri projektiranju večinoma vseh, s tekočimi vodami povezanih posegov v prostor. Za večino ozemlja v Sloveniji je značilno, da se ekstremni pojavi, povezani z vodami, zgodijo v zelo kratkem času. Zato je zelo pomembno, da poskušamo reakcijski čas za pripravo in izvedbo meritve skrajšati in na ta način z meritvami pokriti čimveč merskih profilov. Z razvojem ultrazvočne merilne opreme v zadnjem času so mogoče številne, v preteklosti skoraj neizvedljive rešitve.

ARSO ima dva ultrazvočna merilnika, pridobljena v letih 2003 in 2005. Do danes smo uspeli za meritve v ekstremnih razmerah usposobiti tri merilne ekipe. Osnovna naloga v prihodnosti ostaja logistična podpora

ekipam, v obliki dodatne opreme (terenski računalniki, dostop do zbirk podatkov, zaščitna oprema), predvsem pa določitev dolžnosti in pravic uslužbencev na ARSO ob izrednih razmerah. Le s sodelovanjem širše skupnosti (ARSO, URSZR, vodnogospodarska podjetja, občine ipd.) bo mogoče v prihodnosti povečati število zabeleženih ekstremnih pojavov visokih voda. S tem se bo povečala kakovost pretočnih krivulj za ekstremne vrednosti in posledično zanesljivost projektnih vrednosti pretokov.

Viri in literatura

1. ARSO, 2005. Zbirka meritev.
2. Simpson, M. R., 2001. Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler. USGS Department of the Interior, Sacramento, 123 str.