
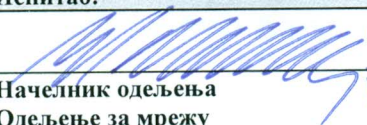
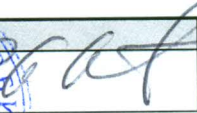
	Републички хидрометеоролошки завод	Шифра
	Радно упутство	QR-C-013
Ревизија:	А	Врста упутства: Оперативно

УПУТСТВО ЗА МЕРЕЊА
ХИДРОМЕТРИЈСКИМ КРИЛОМ



Историјат ревизија документа		
Ревизија:	Датум:	Опис:
Ревизија А	25.04.2017.	Прва, иницијална верзија документа

Начинио:	Испитао:	Одобрио:
		
Аналитичар за хидролошки осматрачки систем	Начелник одељења Одељење за мрежу хидролошких станица	Помоћник директора Сектор за хидролошки осматрачки систем и анализе
Датум: 25.04.2017.	Датум: 9.05.2017.	Датум: 9.05.2017.

Садржај:

1. Сврха.....	5
2. Подручје примене.....	5
3. Дефиниције и појмови	5
4. Надлежност	5
5. МЕРЕЊА ХИДРОМЕТРИЈСКИМ КРИЛОМ	5
5.1. УВОД.....	5
5.2. ОПИС КОНВЕНЦИОНАЛНОГ МЕРЕЊА	6
5.2.1. Метода брзина – површина	6
5.2.2. Метода половине сегмента.....	6
5.2.3. Метода осредњавања по сегменту	8
5.3. ИНСТРУМЕНТИ И ОПРЕМА	8
5.3.1. Хидрометријска крила, уопштено	8
5.3.2. Хидрометријска крила, механичка, са вертикалном осовином	9
5.3.3. Хидрометријска крила, механичка, са хоризонталном осовином	9
5.3.4. Упоредни тестови перформансе крила	10
5.3.5. Електромагнетна крила.....	10
5.3.6. Пажљиво одржавање хидрометријског крила	10
5.4. ЈЕДНАЧИНА КРИЛА	11
5.4.1. Канали за калибрацију крила	11
5.4.2. Захтеви за задовољавајућу калибрацију	12
5.4.3. Калибрационе једначине крила и калибрационе табеле	12
5.4.4. Резиме и закључци	13
5.5. ОПРЕМА ЗА СОНДИРАЊЕ	14
5.5.1. Сондирка	14
5.5.2. Сондажно уже и сондажни тег.....	14
5.5.3. Ехо-сондер	15
5.6. ОПРЕМА ЗА МЕРЕЊЕ ШИРИНЕ	15
5.6.1. Пантљике и градуисана ужад.....	16
5.6.2. Методе геодетског мерења ширине.....	16
5.6.3. Диференцијални DGPS или GPS побољшане прецизности	16
5.7. СПЕЦИЈАЛНА ОПРЕМА И ОПРЕМА ЗА ВЕШАЊЕ	17
5.7.1. Опрема за вешање	17
5.7.2. Дизалица за сондирање.....	17
5.7.3. Опрема жичаре	18
5.7.4. Опрема за мерење са моста	19
5.7.5. Мерна опрема за пловило	20
5.7.6. Бројач обртаја	21
5.7.7. Додатна обавезна опрема	21
5.8. МЕРЕЊЕ БРЗИНЕ	21
5.8.1. Метода распореда брзине у вертикали.....	22
5.8.2. Метода 0,6 дубине	23
5.8.3. Метода 0,2 дубине	23
5.8.4. Метода “површинске тачке” и метода потповршинске тачке	24
5.8.5. Метода две тачке	24
5.8.6. Метода три тачке	24
5.8.7. Метода пет тачака	25
5.8.8. Метода шест тачака.....	25

5.8.9.	Интеграциона метода.....	25
5.9.	МЕРЕЊЕ ДУБИНЕ.....	26
5.9.1.	Коришћење сондирке за гажење.....	26
5.9.2.	Коришћење сондажне ужади и тегова.....	26
5.9.3.	Корекције дубине за низводно повлачење сондажног тега.....	27
5.9.4.	Коришћење ехо-сондера.....	29
5.10.	ПРОЦЕДУРА МЕРЕЊА ПРОТОКА.....	29
5.10.1.	Избор мерног места.....	29
5.10.2.	Распоред и позиционирање парцијалних сегмената и вертикала.....	30
5.10.3.	Мерење дубине.....	31
5.10.4.	Мерења брзине.....	31
5.10.5.	Одређивање правца и смера течења.....	31
5.10.6.	Бележење у теренске записнике мерења.....	32
5.10.7.	Мерење крилом методом гажења.....	33
5.10.8.	Мерење крилом коришћењем жичаре.....	33
5.10.9.	Мерења крилом са моста.....	34
5.10.10.	Мерења крилом са залеђене коре на реци.....	36
5.10.11.	Мерења крилом са стационарног пловила.....	36
5.10.12.	Умрежена крила у попречном пресеку.....	37
5.10.13.	Мерења протока дубоких брзих водотока.....	37
5.10.14.	Одређивање протока при променљивом водостају.....	39
5.10.15.	Мерење протока при врло брзим променама водостаја.....	40
5.10.16.	Корекција протока за промену запремине у кориту.....	41
5.11.	НЕИЗВЕСНОСТ МЕРЕЊА ПРОТОКА.....	42
5.11.1.	Квалитативна процена.....	42
5.11.2.	Квантитативна процена.....	43
6.	Референце, литература и примедбе.....	44
6.1.	Референце.....	44
6.2.	Литература.....	44
6.3.	Примедбе.....	45
7.	Документација.....	45
7.1.	Важност.....	45
7.1.1.	Важност упутства.....	45
7.1.2.	Документација.....	45
7.2.	Одговорност.....	45
7.3.	Дистрибуција.....	45
8.	Прилози.....	45

1. Сврха

Овим документом се описује поступак и начин мерења протока хидрометријским крилом. Циљ овог документа је да се обезбеди правилан и једнообразан поступак и начин мерења протока хидрометријским крилом.

2. Подручје примене

Ово упутство се користи у Процесу Ц – Функционисање система за хидролошка мерења и анализе, подпроцесу - Хидролошка мерења и анализе површинских вода.

Редослед и ток активности, пратећа документација и носиоци одговорности током функционисања система за хидролошка мерења и анализе површинских вода дефинисани су процедуром QOP-C-002 Хидролошка мерења и анализе површинских вода.

3. Дефиниције и појмови

Ово упутство користи дефиниције и појмове из Српског стандарда SRPS EN ISO 772:2008, Хидрометрија — Речник и симболи и WMO-No. 385, 2012; UNESCO-WMO International Glossary of Hydrology.

4. Надлежност

За спровођење Упутства надлежни су руководиоци у Одељењу за мрежу хидролошких станица.

5. МЕРЕЊА ХИДРОМЕТРИЈСКИМ КРИЛОМ

5.1. УВОД

Проток воде, или протицај, дефинише се као запреминска брзина течења воде у речном кориту и то не само воде већ мешавине воде и речног наноса или других чврстих честица, које могу бити растворене у води или помешане с њом. Проток воде се по правилу изражава у кубним метрима у секунди (m^3/s). Проток воде се не мери директно већ се мора срачунати из променљивих величина које могу бити мерене директно, као што су брзина, ширина тока, дубина тока и водостај. То даље значи да је, иако се проток израчунава из мерења других променљивих, термин „мерење протока“ генерално применљив на коначни резултат тих прорачуна заснованих на мерењима основних величина: брзине и површине попречног пресека тока.

Сврха мерења протока на некој станици је одређивање једначине протока за то мерно место. Једначина протока може да буде једноставна корелациона зависност водостаја и протока, или нека комплекснија зависност када се проток изражава као функција водостаја, пада и брзине промене водостаја или других чинилаца. На неком новом мерном месту прво се раде мерења при различитим водостајима који су осматрени на референтном водомеру, како би се дефинисала иницијална крива протока. Мерења протока се затим врше периодично, по правилу једном месечно, а такође за време екстремних појава као што су поплаве и суше, како би се верификовала иницијална крива, проширио домен важења иницијалне криве, или дефинисале било какве промене у иницијалној кривој коју су проузроковале промене у физичко-хидрауличким условима у кориту.

5.2. ОПИС КОНВЕНЦИОНАЛНОГ МЕРЕЊА

5.2.1. Метода брзина – површина

У овом поглављу даје се опис конвенционалног мерења коришћењем хидрометријског крила. Мерење се обавља методом брзина-површина. Метода брзина – површина је поступак одређивања протока на основу површине попречног пресека која је ограничена оквашеним обимом и слободном површином воде и интеграције компоненте брзине управне на тај попречни пресек. Овај прорачун се изражава следећом једначином:

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i v_i \quad (5.1)$$

где је Q = укупан проток, у кубним метрима у секунди (m^3/s), A_i = парцијална површина, у квадратним метрима (m^2), за i -ти сегмент од укупно n сегмента на колико је издељен попречни пресек воденог тока, v_i = брзина у смеру тока, у метрима у секунди (m/s), која је управна на i -ти сегмент и вертикалу.

Методе за прорачун протока класификују се као графичке методе и аритметичке методе, са тим што је аритметичка метода кориснија за прорачуне на терену.

Графичке методе за прорачун протока су:

- а) Метода интегралне дубине и брзине;
- б) Метода интегралне брзина-површина (метода контура брзина, метода изотаха).

Аритметичке методе за прорачун протока су:

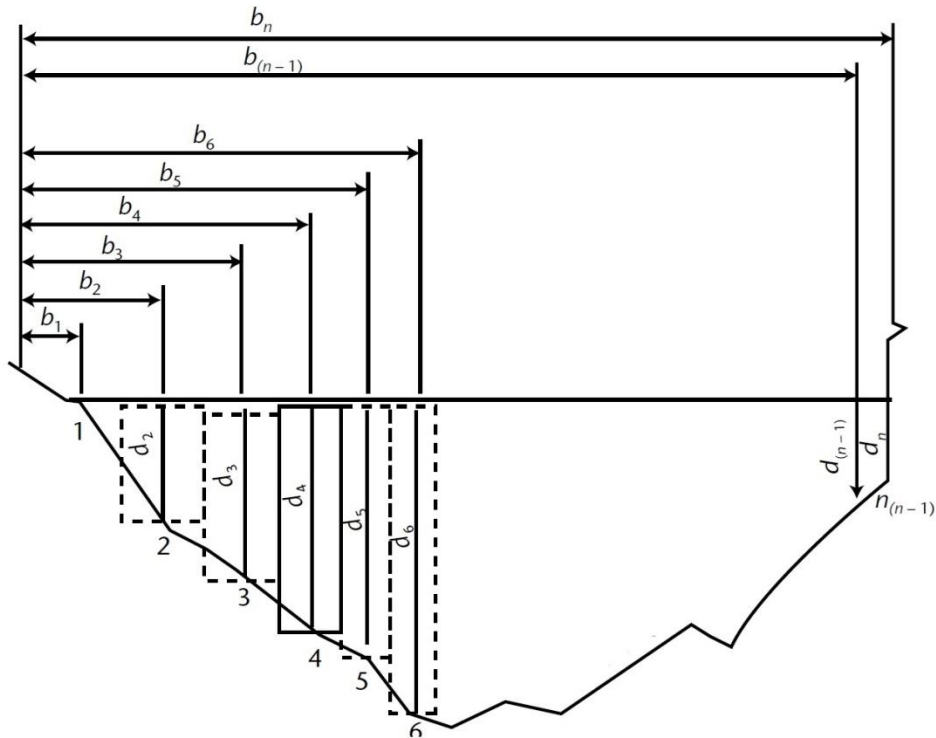
- а) Метода осредњавања по сегменту;
- б) Метода половине сегмента;
- в) Метода независних вертикала;
- г) Метода осредњавања по сегменту у хоризонталним равнинама;
- д) Метода одређивања протока при променљивом водостају.

Методе наведене у тачкама од в) до д) применљиве су за посебне услове мерења.

5.2.2. Метода половине сегмента

Код прорачуна по методи половине сегмента уведена је претпоставка да је брзина која је осредњена у вертикали репрезентативна за средњу брзину у парцијалној површини правоугаоног облика (Слика 1.). Укупан проток по методи половине сегмента добија се сумирањем производа површине сегмента (делова површине попречног пресека) и брзина које су осредњене по тим сегментима.

Средња брзина у свакој вертикали се одређује мерењем брзине у неколико одабраних тачака на тој вертикали. Парцијална површина једног сегмента попречног пресека простире се бочно од једне вертикале до половина удаљености претходне и наредне вертикале, а по дубини од водене површине до дна. Тако је попречни пресек дефинисан преко дубина измерених у вертикалама на позицијама 1, 2, 3, ... n .



Слика 1. Прорачун протока методом половине сегмента

На свакој позицији вертикале помоћу хидрометријског крила мери се брзина у више тачака, да би се добио распоред брзине и одредила средња брзина у вертикали. Парцијални проток се може срачунати за сегмент (парцијалну површину) на позицији i -те вертикале:

$$q_i = v_i \left[\frac{(b_i - b_{(i-1)})}{2} + \frac{(b_{(i+1)} + b_i)}{2} \right] d_i = v_i \left[\frac{b_{(i+1)} - b_{(i-1)}}{2} \right] d_i \quad (5.2)$$

где је:

- q_i проток кроз сегмент i
- v_i средња брзина на позицији вертикале i
- b_i удаљеност од почетне тачке до позиције вертикале i
- $b_{(i-1)}$ удаљеност од почетне тачке до позиције претходне вертикале $i-1$
- $b_{(i+1)}$ удаљеност од почетне тачке до позиције наредне вертикале $i+1$
- d_i дубина воде на позицији вертикале i

Тако, на пример, проток кроз сегмент 4 (уоквирено на слици 1.) износи:

$$q_4 = v_4 \left[\frac{b_5 - b_3}{2} \right] d_4 \quad (5.3)$$

Исти поступак важи када је позиција вертикале и на крајњим тачкама попречног пресека. У почетној тачки попречног пресека, “претходна вертикала” је идентична са позицијом 1; у задњој тачки попречног пресека, “наредна вертикала” са позицијом n . Одатле следи,

$$q_1 = v_1 \left[\frac{b_2 - b_1}{2} \right] d_1 \quad (5.4)$$

$$q_n = v_n \left[\frac{b_n - b_{(n-1)}}{2} \right] d_n \quad (5.5)$$

У примеру приказаном на слици 1, парцијални проток q_l једнак је нули зато што је дубина воде на позицији 1 једнака нули. Међутим, у случају да, за урез воде, попречни пресек има вертикалну граничну линију на позицији n , онда ту дубина није једнака нули, док брзина може, али не мора, да буде једнака нули. Једначине (5.4) и (5.5) користе се увек када у водотоку има воде само са једне стране мерне тачке попречног пресека, као што је случај са урезом воде при речној обали, мостовским стубовима и опорцима, спрудовима или адама. Уобичајено је стога да се на крајевима попречног пресека брзина тока не мери него процењује, пошто постоје ограничења коришћења крила у зони малих дубина. Додатни проблем у граничним зонама течења је могућа турбуленција. Процењена брзина у крајњем сегменту обично се узима да је процентуални удео брзине у суседном сегменту. Збир свих парцијалних протока је укупни проток воде у том водотоку.

5.2.3. Метода осредњавања по сегменту

Метода осредњавања по сегменту се разликује од претходне методе у рачунској процедури. Овде се парцијални протоци рачунају за површину између суседних вертикала. Измерене брзине и дубине у суседним вертикалама осредњавају се за сваку вертикалу, а парцијални сегмент одређује тако што се бочно простире између суседних вертикала. Проток је производ просека из две средње брзине, просека из две дубине, и растојања суседних вертикала.

Проток у i -том сегменту попречног пресека израчунава се на следећи начин:

$$q_i = (b_{i+1} - b_i) \left(\frac{d_{i+1} + d_i}{2} \right) \left(\frac{\bar{v}_{i+1} + \bar{v}_i}{2} \right) \quad (5.6)$$

где је \bar{v} средња брзина у свакој вертикали.

Поступак треба понављати за сваки парцијални сегмент. Делимични проток у крајњим сегментима попречног пресека оцењује се на бази претпоставке да су уз саму обалу брзина и дубина једнаке нули. Међутим, уколико тај проток није занемарљив део укупног протока, тада се мора проценити средња брзина у близини обале, или измерити када за то постоје услови. Укупни проток се добија сумирањем делимичних протока из свих парцијалних сегмената, укључујући делимичне протоке уз речне обале. Једна студија (Young, 1950) је утврдила да је ова метода једноставнија за рачунање али нешто тачнија од методе половине сегмента.

5.3. ИНСТРУМЕНТИ И ОПРЕМА

Мерења хидрометријским крилом се уобичајено класификују према одабраној методи мерења, то јест према начину који је одабран да се при мерењу пређе преко водотока од једне до друге обале, или од почетне тачке до крајње тачке попречног пресека. Методе или начини преласка могу бити: гажење, жичара, мост, чамац. Инструменти и пратећа опрема која се користи при обављању хидрометријског мерења, варираће у зависности од одабране методе мерења.

5.3.1. Хидрометријска крила, уопштено

Хидрометријско крило је прецизни инструмент калибрисан за мерење брзине течења у водотоцима. Постоје разни типови инструмената који раде на различитим

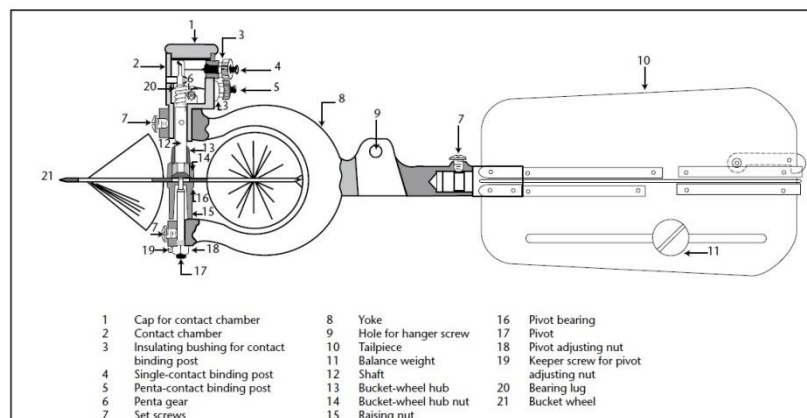
принципима, укључујући механичка крила са обртним елементом, електромагнетна, акустичка, оптичка крила и радари за мерење површинских брзина. Сви ови мерни уређаји, када су правилно одржавани и калибрисани, сматрају се подобним и довољно тачним за мерење брзине течења у водотоцима.

Принцип рада механичког крила са обртним елементом заснован је на пропорционалности која постоји између брзине течења и резултујуће угаоне брзине ротора, или обртног елемента. Ако се механичко крило постави у некој тачки у речној струји и срачуна број обртаја ротора у временском интервалу чије се трајање мери, онда се брзина воде у тој тачки може одредити из једначине крила. Функционални захтеви, конструкција, калибрација и одржавање крила са обртним елементом утврђени су стандардом ISO 2537.

Електромагнетно крило је засновано на принципу да ће проводник – вода која тече кроз магнетно поље у складу са Фарадејевим законом произвести електричну струју чији ће интензитет бити директно пропорционалан брзини течења. Мерењем јачине индукване струје може се одредити локална брзина, или брзине у тачки, текуће воде.

5.3.2. Хидрометријска крила, механичка, са вертикалном осовином

Тип хидрометријског крила које се користи у служби USGS је механичко крило са вертикалном осовином (Слика 2.).



Слика 2. Склоп крила са вертикалном осовином типа Прајс АА

5.3.3. Хидрометријска крила, механичка, са хоризонталном осовином

Постоји више типова конструкција механичког крила са елисом која је монтирана на хоризонталној осовини. Крила са хоризонталном осовином имају следеће предности:

- а) ротор у облику елисе мање ремети течење него ротор на вертикалној осовини због аксијалне симетрије у смеру речног тока;
- б) овај тип ротора има мању вероватноћу да ће се упетљати у бујични материјал који плута низ реку;
- в) трење лежајева је мање него код ротора на вертикалној осовини, јер на хоризонталну осовину не делује момент савијања;
- г) код закошеног течења, када се крило држи управно на мерни пресек нека од ових крила (на пример ОТТ) могу да мере само компоненту брзине која је управна на мерни пресек;
- д) неки модели имају роторе са више различитих ходова елисе, чиме је омогућен

знатно већи опсег за мерење брзине.

Крило са обртним елементом се не сме користити тамо где је дубина воде у мерној тачки мања од четвороструког пречника одабране елисе, или тела самог крила, зависно од тога шта је веће. Ниједан део крила не сме да вири из воде. Изузетак од овог правила је случај када је попречни пресек врло плитак на једној од обала али није могуће наћи бољи.

5.3.4. Упоредни тестови перформансе крила

Упоредни тестови перформансе крила са вертикалном и хоризонталном осовином, у повољним условима мерења, указују на практично идентичне резултате мерења коришћењем ова два типа крила.

5.3.5. Електромагнетна крила

Електромагнетна крила су погодна за мерења брзине у тачки. Ова крила имају предност што немају покретних делова те се тиме елиминише неизвесност која потиче од трења и отпора. Електромагнетна крила треба да се калибришу у целом опсегу брзине у којем ће бити коришћена и треба да задовоље захтеве тачности сличне онима за крила са обртним елементом. Не треба их користити изван опсега калибрације. Електромагнетна крила су погодна за рад у мањим дубинама него крила са обртним елементом, као и за детектовање и мерење повратног течења.

Електромагнетна крила се могу прецизно калибрисати у калибрационом каналу са вучним колицима, слично као и механичка крила, међутим тестирања су показала да електромагнетна крила имају већу варијансу од крила са обртним елементом, нарочито при мерењима малих брзина. Значајно ограничење електромагнетних крила је да су подложна електричној интерференцији и у вези са тим захтевају посебне тестове.

Електромагнетно крило не треба користити тамо где је дубина воде у мерној тачки мања од троструке вертикалне димензије сонде (видети ISO/TS 15768). Изузетак од овог правила је случај када је попречни пресек врло плитак на једној од обала али није могуће наћи бољи.

Предности електромагнетних крила су следеће:

- а) немају покретних делова;
- б) директно се читавају измерене брзине;
- в) у закошеном струјању је вектор измерене брзине управан на раван попречног пресека када се крило држи управно на ту раван;
- г) могу да мере мање брзине него крило са обртним елементом, мада ће неизвесности мерења бити релативно високе.

5.3.6. Пажљиво одржавање хидрометријског крила

Да би се осигурало да крило поуздано мери брзину тока, неопходно је да крило буде одржавано у добром стању. Треба пазити и чувати хидрометријска крила.

Пре и после сваког хидрометријског мерења треба пажљиво прегледати делове крила: елису, лежајеве и обртну осовину и проверити да нису оштећени, истрошени од трења или искривљени.

Пре употребе крила треба проверити да ли крило уравнотежено балансира док виси на сајли, такође треба проверити да ли обртна осовина држи правац када је крило причвршћено на сајлу или на штанглу, и треба извршити подешавање кабл-сајле како би се онемогућио њен утицај на поремећај равнотеже крила и на обртање ротора. Док траје мерење периодично треба проверити да ли се крило када је извучено изван воде слободно обрће на обртној осовини.

Свако крило треба чистити и подмазивати сваког дана када је коришћено. Када се мерења врше у водама јако оптерећеним речним наносом, крило мора да буде одмах очишћено после сваког мерења.

Након подмазивања крила, треба дунути или прстима покренути обртни елемент да би се утврдило да ли се слободно и равномерно обрће без запињања (*spin-test*). Ако обртање запне одмах треба видети шта је разлог томе и то поправити пре следећег коришћења тог крила. Дужину периода обртања током спин-теста треба записати у технички образац одржавања крила. Значајно опадање у дужини периода обртања указује на то да би требало обратити пажњу на лежајеве.

Приликом одлагања крила са хоризонталном осовином увек треба скинути елису и уклонити трагове уља са тела крила. Ако лежајеви захтевају чишћење, треба их пребрисати алкохолом или бензином.

Резервни лежајеви имају заштитни слој масног премаза који мора да буде уклоњен пре употребе.

Када се крило подмазује користи се чисто уље које се додаје у тело држећи га усправно и пуни до пола. Све сувишно уље се мора пажљиво обрисати. Саветује се да се форсирано обртање елисе врши око један минут ради провере стања лежајева и да би се осигурала равномерна расподела уља.

Задужени техничар треба да утврди оштећење или квар на инструменту али не и да га поправља. Након поправке код овлашћеног сервиса, такво крило ће захтевати поновну калибрацију.

5.4. ЈЕДНАЧИНА КРИЛА

За одређивање брзине течења на основу обртања осовине механичког крила мора се претходно успоставити зависност између угаоне брзине осовине и брзине воде која изазива то обртање. Та зависност се назива једначина крила и изражава се као полином или табеларно. За детаље о калибрацији хидрометријских крила са обртним елементом треба погледати стандард SRPS ISO 3455.

5.4.1. Канали за калибрацију крила

Једначина крила се добија тако што се крило најпре вуче кроз дугачки калибрациони канал напуњен водом, константном брзином а затим се дефинише однос између линијске и ротационе брзине. Калибрациони канали су веома слични у свим земљама, са тим што њихова дужина варира од 50 до 200 метара. Ширине су између 2 до 5 m, а дубине варирају од 1 до 5 m.

Национална хидролошка лабораторија за калибрацију у Берну Швајцарска коју користе многе европске хидролошке службе опремљена је каналом дужине 140 m, ширине 4 m, дубине 2,4 m, са вучним колицима са даљинским управљањем која могу да вуку кроз воду истовремено до четири инструмента контролисаном брзином максимално до 10 m/s. Лабораторија поседује оперативну конзолу, мерне инструменте,

опрему за пренос и анализу података калибрационих мерења, као и потребне сигурносне уређаје.

Сви канали за калибрацију крила имају покретна колица монтирана изнад површине воде која се константном брзином крећу по шинама дуж канала. Крило је причвршћено на колица, тако да се заједно са колицима константном брзином помера кроз воду. При извођењу калибрационих прелаза дуж канала колица се крећу различитим брзинама које се могу тачно измерити у мерном опсегу од приближно 0,1 m/s до приближно 4 m/s. За развијање калибрационих једначина крила користе се следећи подаци – измерено растојање које су колица прешла у једном прелазу дуж канала, протекло време за сваки прелаз колица, и измерен број обртаја елисе крила за сваки прелаз колица.

5.4.2. Захтеви за задовољавајућу калибрацију

Да би се добила задовољавајућа калибрација крила морају бити испуњени следећи услови:

- а) Бројање импулса и мерење времена и растојања мора бити тачно;
- б) Колица морају глатко да клизе по шинама константном брзином, како се осцилирајуће кретање било лонгитудинално било латерално, не би пренело на крило. Када се колица са овешаним крилима покрену, мерење времена прелаза не сме започети све док се не умире осцилације које настају при убрзавању колица;
- в) Метода вешања крила на колица мора бити иста као код хидрометријских мерења на терену;
- г) Крило мора бити постављено тако да оса крила буде паралелна подужној оси канала;
- д) Резидуално померање воде (таласање) мора бити занемарљиво мало;
- е) Мерења по правилу не треба радити у домену брзине у којем се јавља Еперов ефекат.

Еперов ефекат се јавља при брзини која има вредности врло блиско \sqrt{dg} брзине плитког таласа у води дубине d (где је g убрзање земљине теже). Величина овог ефекта и опсег брзина у којем је ефекат значајан, варира у зависности од величине крила и димензија канала. Код већих крила овај ефекат је већи, а код мини-крила је занемарљив. У принципу, за једно крило овај ефекат је већи у малом каналу него у неком великом.

5.4.3. Калибрационе једначине крила и калибрационе табеле

Калибрациона једначина елисе крила изражава се као линеарна једначина или серија линеарних једначина у облику:

$$v = \alpha + \beta n \quad (5.7)$$

где је v брзина, у метрима у секунди, α , β су константе, n је број обртаја у секунди.

За већину крила, неће бити довољна једна линеарна једначина за целокупни домен брзине течења, тако да ће бити потребно две или више једначина да би се апроксимирала калибрациона зависност за цео опсег брзина. Исто тако треба приметити да код свих механичких крила постоји доња гранична вредност брзине која се назива минимална брзина одзива. Минимална брзина одзива је најмања брзина тока при којој елиса (обртни елемент крила) почиње да се окреће и задржава континуално и

униформно угаоно кретање. Минимална брзина одзива је различита код различитих типова обртних елемената крила, али је то најчешће брзина која је једнака приближно 0,03 m/s.

5.4.4. Резиме и закључци

Као резултат вишегодишњег рада на калибрисању крила у хидрауличким лабораторијама, донети су следећи суштински закључци:

(а) Вешто и умешно коришћење и одржавање крила је најбитнији чинилац који утиче на тачност мерења брзине. Ово се посебно односи на мерења у домену малих брзина;

(б) Што је нижа вредност минималне брзине одзива неког крила, то је мања брзина течења коју то крило може поуздано измерити;

(в) Ако би се изузели акциденти, калибрација крила се врло мало мења током употребе; то се нарочито односи на мерења већих брзина. На доњем крају мерног опсега промене калибрације су сразмерно значајније и зависе једнако од одржавања чистоће и подмазивања, као и од хабања и трења покретних делова крила.

(г) Крила у која су уграђене механичке склопке за успостављање/прекидање електричног кола којим се мери број обртаја, имају већу вредност минималне брзине одзива и мање конзистентну перформансу при малим брзинама, од крила која имају магнете и рид-контакте (електромагнетне склопке);

(д) Тачност калибрационих једначина је већа него тачност појединачних калибрационих тачака;

(ђ) Када се обави неколико поновљених калибрација једног истог крила, расипање резултата је много мање од расипања резултата када се калибрише неколико крила истог типа произведених на исти начин (групна калибрација);

(е) Неизвесност групне калибрације неког крила модерне конструкције није велико, међутим, утврђено је да мерења извршена крилима која имају групну калибрациону једначину имају већу неизвесност, такве калибрације се ипак могу користити за рутинска мерења;

(ж) Расипање резултата калибрације крила за велике брзине је мање него за мале брзине. Нека крила код којих су врло прецизно израђене металне елисе, имају такве резултате да 19 од 20 калибрација лежи унутар појаса од $\pm 1,5$ % просека групне калибрације. Код неких елиса неизвесност је и нижа $\pm 0,8$ %. Расипање резултата калибрације за групу крила која имају пластичне елисе са готово неутралним узгоном је између ± 2 % и $\pm 2,5$ % за веће брзине.

(з) За мање брзине, тамо где јесу главне потешкоће мерења, расипање резултата крила са металним елисама и електромагнетним склопкама је такође нешто мање него код крила са пластичним елисама. Перформанса крила са пластичним елисама је супериорнија за мерења малих брзина од оних крила која имају механичке склопке/контакте;

(и) Све напомене у претходним ставовима односе се на примену добро одржаваних крила у условима у којима су калибрисана;

(ј) Крила са пластичним елисама и лежајевима са самоподмазивањем траже врло мало пажње и подешавања и идеална су за мерења малих брзина и за општу употребу на удаљеним локацијама где нема радионица за поправку;

(к) Разлике у групној калибрацији између два добро одржавана крила истог типа, су систематске природе. За специфичне студије које захтевају максималну тачност мерења, пожељна су појединачна калибрисања инструмента. На пример, у Чешкој Републици захтевају се за све типове крила појединачна калибрисања и то не старија од 2 године. У Чешкој се углавном користе Отова крила.

5.5. ОПРЕМА ЗА СОНДИРАЊЕ

Сондирање (одређивање дубине тока) и одређивање позиције мерне тачке на вертикали врши се или постављањем круте штангле или спуштањем сондажног тега окаченог на челично уже за вешање. Челичним ужетом се управља или преко винде или директно из руке. Такође, може се користити ехо-сондер, обично у комбинацији са виндом и сондажним тегом. За мерење дубина може да се користи различита опрема која ће бити описана у следећим одељцима.

5.5.1. Сондирка

Сондирка (штангла) је по конструкцији крута штангла. Може да буде ручна и да се ради с њом из руке, а може да има механичку подршку. Уопштено, ручне сондирке се не користе за дубине веће од 3 m и брзине веће од 2 m/s. Сондирка са механичком подршком је погодна за дубине до 6 m и брзине до 2 m/s. Сондирка за мерење гажењем се користи у плитким рекама које се могу прегазити.

Ова опрема треба да задовољи следеће захтеве:

- а) Њена маса треба да буде што је могуће мања;
- б) Треба да буде права и довољне чврстоће да издржи силу вучења речне струје без значајног отклона или вибрација. Може бити из више делова ради расклапања. Спој делова не сме да омета позиционирање или рад хидрометријског крила;
- в) Треба да буде направљена од нерђајућег материјала;
- г) Не треба да изазове значајно дизање воде са узводне стране и тако делује као препрека течењу;
- д) Интервал између градуисаних ознака треба да омогући читање до 10 mm; градуисане ознаке на 0,1 m, 0,5 m и 1 m треба да су јасно уочљиве. Градуисање треба да остане видљиво и кад је сондирка мокра, и треба да буде отпорно на хабање. Градуисање треба да буде видљиво из свих углова;
- е) Треба да има стопу (базну плочу) да би се спречило продирање у дно корита;
- ж) Треба да има уграђен монтажни носач за опрему као и за проводник електричног сигнала;
- з) На сондирку се може додати допунска штангла која омогућава вертикално позиционирање крила без потребе за подизањем сондирке са мерне вертикале.
- и) Треба да буде таква да се може лако држати, нарочито када је мокра или хладна.

5.5.2. Сондажно уже и сондажни тег

Челично сондажно уже (сајла) и сондажни тег могу да се користе у оним ситуацијама у којима дубине и брзине искључују употребу сондирке. Међутим, челично уже је подложно дејству силе вучења речне струје, па овешани тег треба да има довољну масу да би одржао челично уже у што је могуће вертикалнијем положају. Захтевана маса сондажног тега рашће са дужином и брзином воде.

Само челично уже које се користи са опремом за мерење дубина и вешање требало би:

- а) да буде отпорно на корозију, и посебно обликовано да спречи обртање;
- б) да буде опремљено одговарајућим носачима за вешање мерне опреме и тегова;
- в) да има уграђене изоловане проводнике за пренос сигнала са инструмента;
- г) да буде направљено тако да при нормалној употреби не задржи трајне прегибе или увртања који би утицали на његову употребљивост и дужину;
- д) да има довољну чврстоћу да безбедно носи крило и тег.

Оптерећење на кидање, не мање од петоструке тежине највећег тега, обезбеђује довољни коефицијент сигурности за дејство силе вучења речне струје и покретног оптерећења. Издужење челичног ужета под оптерећењем не треба да пређе 0,5 %.

Поред тога, тамо где се челично уже користи из руке, део који се држи руком треба да је од одговарајућег материјала и димензија (на пример, пречник 10 mm са облогом од поливинил хлорида или гуме) да би се избегла повреда радника. Оквашени део челичног ужета треба да има што је могуће мањи пречник (у складу са горе наведеним условима) да би се смањила сила вучења речне струје.

Тегови за мерење дубина треба да буду направљени од материјала веће густине да би запремина била што мања, обликовани хидродинамички да би сила вучења речне струје (отпор облика) била што мања и да имају стабилизаторе за одржавање стабилности правца. Позиција тега у односу на мерни инструмент треба да буде таква да његов утицај на радне карактеристике самог инструмента буде што је могуће мањи. Алка за причвршћивање челичног ужета на тег треба да се направи тако да буде што је могуће мања или да буде уграђена у тело тега.

Поред тога, тег може:

- а) да буде опремљен уређајем који детектује и сигнализује контакт са дном;
- б) да има другу хидрометријску опрему која се причвршћује директно на њега;
- в) да буде део склопа за заштиту хидрометријске опреме.

Не препоручује се причвршћивање два или више тегова на челично уже за мерење дубина, односно вешање.

5.5.3. Ехо-сондер

Са овом опремом мерење се може радити без спуштања крила и тега до дна корита. Дубина коју мери је од површине воде до дна корита. Претварач има узан угао зрачења од 6 степени што минимизира грешке на нагнутом речном дну и омогућава мерење у близини мостовских стубова или других препрека.

Температурне промене имају утицаја на брзину простирања звука, али ова је грешка ограничена на приближно $\pm 2\%$ од измерене дубине. Ова грешка може да се елиминише ако се сондер калибрише да коректно очита вредност на некој средњој дубини која је измерена другим средствима.

5.6. ОПРЕМА ЗА МЕРЕЊЕ ШИРИНЕ

Хоризонтално растојање до мерне вертикале у попречном пресеку се мери од иницијалне тачке на обали. Када се жичаре и мостови редовно користе за обављање хидрометријских мерења, ознаке су обично постављене на размацима од 1, 2, 3 или 5 m. Растојања између сталних ознака се цене или мере пантљиком. Када се мерења раде методом гажења или се мери из чамца или са моста на којем нису остављене трајне ознаке, треба користити челичне пантљике или посебно градуисана ужад. За мерења на веома широким рекама, на пример више од 750 m, где нису применљиве

конвенционалне методе мерења, треба радити према методама геодетског премера или коришћењем диференцијалног система за глобално позиционирање DGPS (Global Positioning System).

5.6.1. Пантљике и градуисана ужад

Градуисана ужад која се користе за мерења гажењем су најчешће ужад направљена од галванизованог челика са ознакама постављеним на правилним размацама.

5.6.2. Методе геодетског мерења ширине

Код веома широких река, где је непрактично развлачити пантљику, треба примењивати методе геодетског премера за одређивање ширине и позиционирање мерних вертикала у попречном пресеку. Методе геодетског премера захтевају коришћење теодолита или секстанта. Мерење ширине се може обавити методом мерења угла, линијским мерењима или методом фиксне тачке.

Са појавом електронских инструмената, као што су тоталне станице, дистомати и ласерски даљиномери, постало је могуће директно читавање удаљености пловила од тачке на обали на којој је постављен инструмент. Неки модели ових инструмената захтевају рефлектор - мету постављену у тачки чија се раздаљина мери (у овом случају брод/чамац), међутим на тржишту има уређаја који врло прецизно мере растојања и без рефлектора - мете. Тачна мерења раздаљина са овим уређајима могу се извести и на удаљеностима већим од 1,5 km, под условом да је брод уочљив и да нема никаквих препрека које ометају видљивост објекта.

5.6.3. Диференцијални DGPS или GPS побољшане прецизности

Позиције мерних вертикала у веома широким попречним пресецима тока, као што су поплављене речне обале које се могу простирати и неколико километара, могу се одредити са GPS инструментом. Инструмент користи сателитску телеметрију мреже од 24 сателита и радио-трилатерацију да би извршио прорачуне за било коју тачку на Земљи. Да би се добила тачност која је неопходна за хидрометријска мерења, сирови подаци GPS позиционирања морају имати диференцијалне корекције које се раде на основу симултаних читавања на базној станици. Неке GPS јединице имају уграђене пријемнике за диференцијалну корекцију који моментално врше аутоматске корекције позиције. Неке друге GPS јединице могу да користе одвојени пријемник који се прикључује на уређај преко кабла. У оба случаја се подаци базних станица примају преко радио-сигнала са оближњих земаљских базних станица.

Овде је пожељно имати ону GPS јединицу која припада геодетском типу, која има капацитет складиштења и прозивања података. Такве јединице могу да имају, али није обавезно, уграђене или прикључене пријемнике за диференцијалну корекцију. Уколико се диференцијалне корекције не врше истог момента, онда се мора извршити пост-процесирање (накнадна обрада) координата користећи податке за кориговање накнадно добијене од засебне/издвојене GPS базе станице. Различите агенције прикупљају податке са базне станице и чине их доступним јавности преко Интернета. Подаци о координатама мерних вертикала пребацују се са GPS јединице на рачунар за накнадну обраду. Може се набавити комерцијални софтвер за вршење диференцијалних корекција, за прорачун коригованих координата мерних вертикала, за аутоматско рачунање растојања између мерних вертикала и за цртање мапе мерних вертикала.

Тачност GPS координата ће варирати у зависности од типа уређаја и од тога да ли се раде, или се не раде, диференцијалне корекције. Координате без диференцијалних корекција могу бити погрешне кумулативно чак до ± 90 m, услед разних грешака у систему. Ово очигледно није прихватљиво за хидрометријска мерења. Међутим, ако се врло пажљиво раде читавања и након извршених диференцијалних корекција, грешке се могу редуковати на мање од ± 1 m, а и мање од тога у идеалним условима. То је прихватљиво за поплављене речне обале и естуаре.

5.7. СПЕЦИЈАЛНА ОПРЕМА И ОПРЕМА ЗА ВЕШАЊЕ

За мерења коришћењем хидрометријских крила са жичара, мостова, чамаца, чврстог леда, потребна је специјална опрема и уређаји за качење мерних инструмената. Основна опрема, као што су крила, сондирке, сондажни тегови, већ су описани у претходним одељцима.

5.7.1. Опрема за вешање

Опрема за вешање треба:

- а) да буде таква да се овешани инструмент за мерење или узорковање може поставити на одабрану дубину и положај без ремећења инструмента, независно од дубине и брзине;
- б) да одржава инструмент за мерење, односно узорковање, стабилним на одабраној дубини и положају током рада.

Вешање о челично уже може се користити у ситуацијама где дубине и брзине искључују употребу сондирке. Челично уже је подложно дејству силе речне струје, па ће под готово свим условима бити потребно додати хидродинамички обликовани тег довољне масе за одржавање челичног ужета у што је могуће вертикалнијем положају. Потребна маса тега расте са дубином и брзином воде.

Челично уже за вешање може да се држи у руци или да се отпушта витлом. Челично уже којим се управља ручно треба да буде једноставне израде и да носи тегове до 15 kg. Када су потребни тегови који прелазе 15 kg, препоручује се да се витло монтира на држач погодном за рад из кабине жичаре, са моста или чамца (брода); ово је прикладно при већини услова течења.

5.7.2. Дизалица за сондирање

Витла која служе за отпуштање и мерење челичног ужета за вешање треба да задовоље следеће захтеве:

- а) Полупречници добоша, котурова и вођица сајли не треба да су мањи од минималног полупречника савијања челичног ужета који препоручује произвођач.
- б) Треба да имају уређај за мерење дужине отпушеног челичног ужета. Може да га покреће добош када се челично уже смешта у једном намотају, а иначе га покреће директно челично уже.
- в) Треба да постоји систем за осигурање уједначеног намотавања челичног ужета на добош; крај челичног ужета треба да је добро причвршћен за добош.
- г) Треба да постоји склоп за закључавање добоша у жељеном положају.
- д) Треба обезбедити електрични вод између бројача и инструмента који је овешан.

- е) Конструкција витла треба да је таква да руковање буде лако; добош се може везати на моторни погон ради подизања и спуштања мерне опреме и тега; начин причвршћивања на носач треба да је једноставан и безбедан.

5.7.3. Опрема жичаре

Систем жичаре може да буде пројектован тако да се њиме управља са речне обале или из висеће кабине за посаду. У оба система следећи елементи су исти:

- а) стубови или носећа конструкција,
- б) вођица или главно уже,
- в) анкери,
- г) затезна ужад,
- д) уже за вешање.

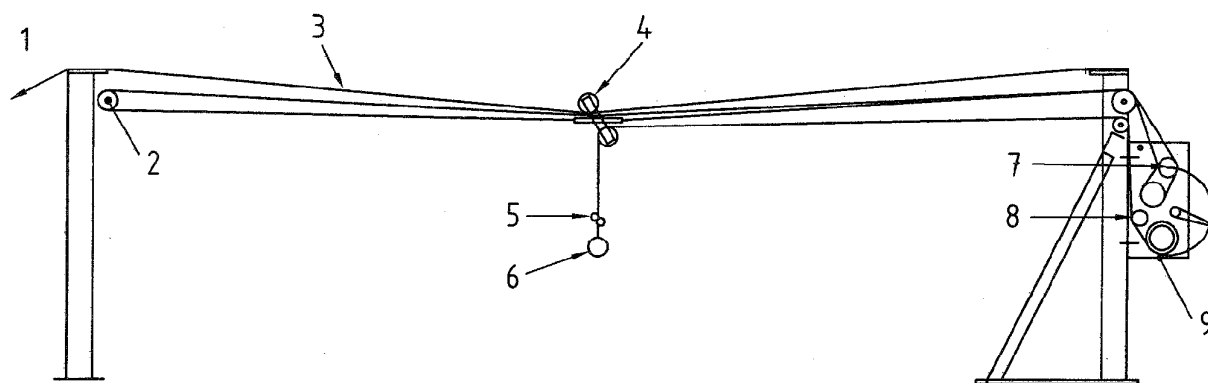
Основне разлике су:

- а) у обалском систему потребно је вучно уже за "мачку";
- б) обалски систем захтева компликованији систем витла;
- в) у кабини се мора обезбедити одговарајући радни простор за техничара;
- г) много су строжи пројектни захтеви за системе са кабином за посаду.

Носећу конструкцију жичаре чине стубови, по један на свакој обали, на које се ослања главно уже, разапето преко реке. На стубове се монтирају витла са катурачама преко којих се постављају вучно уже и уже за вешање.

Вођица или главно уже пројектује се тако да носи целокупно оптерећење при вешању. Главно уже се фиксира или за врхове стубова или за анкере за затезање преко катурача на врховима стубова.

Анкери преносе део оптерећења из система жичаре и носећих стубова на тло. У зависности од пројекта система, потребни су анкери за главно уже и затезну ужад или за водећу ужад, када су темељи стубова оптерећени силом притиска или када су темељи стубова оптерећени силом притиска и моментом силе.



На слици је:

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| 1 затезно уже | 6 сондажни тег |
| 2 катурача вученог ужета | 7 мерач одстојања |
| 3 вођица или главно уже | 8 мерач дубина |
| 4 "мачка" | 9 добош |
| 5 хидрометријско крило | |

Слика 3 — Обалски систем жичаре са бесконачним вучним ужетом

Вучно уже је потребно за покретање и позиционирање "мачке" која носи инструмент. Генерално, вучно уже представља бесконачну петљу (тзв. кружно уже) која од "мачке" иде око водећих катурача на стубу са витлом, око погонског катурача или добоша, до неактивне катураче на стубу на другој обали и назад до "мачке" (Слика 3.).

Алтернативно решење је мотајуће вучно уже које је закачено за "мачку" у само једној тачки. У овом систему, сила у мотајућем вучном ужету истог је интензитета, а супротног смера у односу на силу у ужету за вешање.

Уже за вешање је средство за подизање и спуштање опреме за мерење или узорковање у речни ток. Слободан крај ужета има спојнице за качење опреме и сондажних тегова. У ужету за вешање обично је уграђен изоловани проводник за пренос сигнала са окаченог инструмента.

"Мачка" има један или више точкова за кретање по главном ужету, катурачу за уже за вешање и куку за качење вучног ужета.

Двоструко витло (витло са два добоша) обједињује две функције — хоризонтално кретање дуж главног ужета и сондирање дубина. Преко једног добоша се управља ужетом за вешање инструмента, а преко другог добоша се помера "мачка". Други добош је или намотавајући добош или фриксиони погонски котур који води тзв. кружно уже. Оба добоша могу при кретању имати симултани погон, а да се при сондирању добош за кретање блокира у некој позицији док ради само добош ужета за вешање. Овај поступак се може изводити и са два засебна (одвојена) витла. За одређивање хоризонталног и вертикалног одстојања користе се бројачи постављени на добоше.

Захтеви за опрему, анкере, носеће стубове и помоћне механизме у системима жичара за хидрометријска мерења утврђени су стандардом SRPS EN ISO 4375.

5.7.4. Опрема за мерење са моста

Мерења протока се врло често раде са моста. Крило са сондажним тегом може да се спушта из руке, са оградe моста или помоћу винде монтиране на дизалици.

Ручно сондирање и коришћење ограде моста - Ручна сајла, која је описана у претходном одељку, најпростији је облик опреме која се користи за мерење са моста. За то нису потребни неки посебни катури или опрема за руковање, али она може да се користи једино за мерења са малим теговима до 15 kg. Овде је такође захтев да дубина мора да буде мерена маркираном сајлом или са дугом сондирачком.

Конзолни носач је преносива платформа направљена од дрвета или метала на коју се може монтирати мала винда. Мостовска конзола је обично дуга 1,5 до 2,5 m са катурачом на једном крају преко којег прелази кабл крила и седиштем катураче са друге стране. Конзолни носач се намешта на ограду моста тако да сила коју изазива сондажни тег који виси на ужету винде има контра тег у тежини винде.

Преносне дизалице и кранови - Постоји више врста ручних преносних дизалица за тежине тег до 100 килограма, и за тежине веће од 100 килограма. Кран може да се монтира на основу са три или четири точка или на возило. Кран и дизалице се на овај начин могу лако померати ручно дуж тротоара или коловоза моста.

Различити типови витла могу се користити на било којој од преносних дизалица; она могу имати и моторни погон. Могуће су различите комбинације дизалица, основа (носача и кранова) и витла.

Све преносне дизалице дизајниране су тако да се кран може лако поставити преко моста довољно далеко да крило и тег буду довољно удаљени од ограде и ивица конструкције да се слободно спусте у воду. Када конструкција моста представља препреку за пролаз крана дуж моста, тег и крило се могу подићи и кран се може померити уназад или у страну како би заобишао препреку.

Са носачем дизалице са четири точка користе се ливени противтегови. Број и тежина потребних тегова зависе од величине теге који се користи за мерење, дубине и брзине тока, и количине бујичног материјала које носи речни ток.

При мерењу великих брзина треба увек имати погодан угломер за мерење угла који сондажно уже заклапа са вертикалом у условима када јака речна струја повлачи тег и крило низводно.

5.7.5. Мерна опрема за пловило

Постоје четири начина мерења коришћењем пловила: (1) са стационарног пловила, (2) са ручно покретаног пловила, (3) са аутоматски покретаног пловила, (4) АДЦП-ом са покретног пловила. Овде ће се дати опис само за први начин мерења, пошто се једино тада користи конвенционално хидрометријско крило за мерење брзине.

Код метода мерења са стационарног пловила, користи се чамац као платформа за хидротехничара и опрему за сондирање и мерење. Чамац је причвршћен за челично градуисано уже разапето преко реке како би га поставили на сваку вертикалу на којој се раде сондаже. Отпорна градуисана ужад намењена за тешке радне услове потребна за мерења са пловила, описана су у посебним техничким стандардима.

Склоп специјалне опреме неопходан је за вешање мерне опреме са брода ако дубине не дозвољавају употребу сондирке.

Специјалан носач поставља се на чамац причвршћен на његове бокове, управно на њега поставља се носач дизалице са стрелом постављеном ка прамцу. Попречни носач опремљен је вођицама на сваком крају како би се чамац прикачио на градуисано уже и омогућио да се брод креће дуж њега са једне на другу обалу. На ове вођице може се причврстити мали конопац, тако да се у случају нужде брод може лако да ослободи са градуисног ужета. Носач такође има стезалку која омогућава фиксирање и спречава бочно померање чамца дуж градуисаног ужета током мерења.

Носач дизалице, који се поставља на чамац може бити телескопски, да би се омогућило подешавање дужине стреле. Носач дизалице је опремљен основом за постављање дизалице на једном крају и катурачом преко које пролази сондажно уже крила на другом крају.

Носач дизалице треба да буде такав и тако постављен да када је крило изнад воде омогући да се оно лако чисти и да буде безбедно када се не користи.

Поред већ поменуте опреме, за мерење са пловила потребни су следећи услови:

- а) Стабилно пловило погодно за смештај посаде и опреме;
- б) Мотор који може лако померити пловило и у јакој речној струји;
- в) Пар весала у стању приправности;
- г) Појас за спасавање за сваког члана посаде; и
- д) Опрема за спасавање.

5.7.6. Бројач обртаја

Када се за одређивање брзине у тачки користи крило, неопходно је срачунати обртаје ротора у одабраном временском интервалу. Вредност брзине се тада добија или из таблице или из једначине, што је описано раније у овом тексту.

Дигитални бројач или аутоматски електронски бројач, може да се користи са било којим механичким крилом. Бројач аутоматски броји и приказује број обртаја ротора крила и протекло време. Бројач се може подесити да даје звучни сигнал на сваком затварању контакта, а укупни број обртаја и протекло време се приказују на дисплеју након завршеног мерења брзине. Неки бројачи се могу програмирати да рачунају и брзину из једначине крила.

5.7.7. Додатна обавезна опрема

Примена мера личне и опште безбедности је од највеће важности када се ради близу, у и изнад воде. Лична заштитна опрема је потребна када се ради у води или на води која је потенцијално опасна. Није циљ овог поглавља да описује све сигурносне захтеве; међутим, сваки хидротехничар треба да буде упознат са тим захтевима и да их поштује. Други документи пружају детаље специфичних сигурносних захтева за мерење гажењем, на мостовима, са жичаре, из чамца и за рад на леду. Завод има службеника задуженог за сигурност и план заштите на раду кога треба консултовати за специфична питања везана за безбедност.

5.8. МЕРЕЊЕ БРЗИНЕ

Генерално, брзина у тачки мери се хидрометријским крилом. Метода мерења протока у попречном пресеку коришћењем крила које мери брзине у појединим тачкама, захтева одређивање средње брзине у свакој од одабраних мерних вертикала. Средња брзина у мерној вертикали добија се на основу брзина које су измерене у неколико тачака те вертикале. Апроксимативна вредност средње брзине у вертикали може да буде одређена тако што се изврше мерења брзине у неколико тачака те вертикале а затим примени одговарајућа једначина за прорачун средње брзине. За детаљнији опис мерења протока методом брзина-површина треба погледати стандард SRPS EN ISO 748.

Методe за мерење средње брзине у вертикали су:

- а) метода распореда брзине;
- б) методе редукованог броја тачака;
- в) алтернативне методе.

Следеће методе за одређивање средње брзине у вертикали називају се методе редукованог броја тачака:

- г) метода једне тачке;
- д) метода две тачке;
- е) метода три тачке;
- ж) метода пет тачака;
- з) метода шест тачака.

Следеће методе за одређивање средње брзине у вертикали класификују се као метода једне тачке:

- и) метода 0,6 дубине;

- к) метода 0,2 дубине;
- л) метода једне тачке при површини и метода потповршинске тачке.

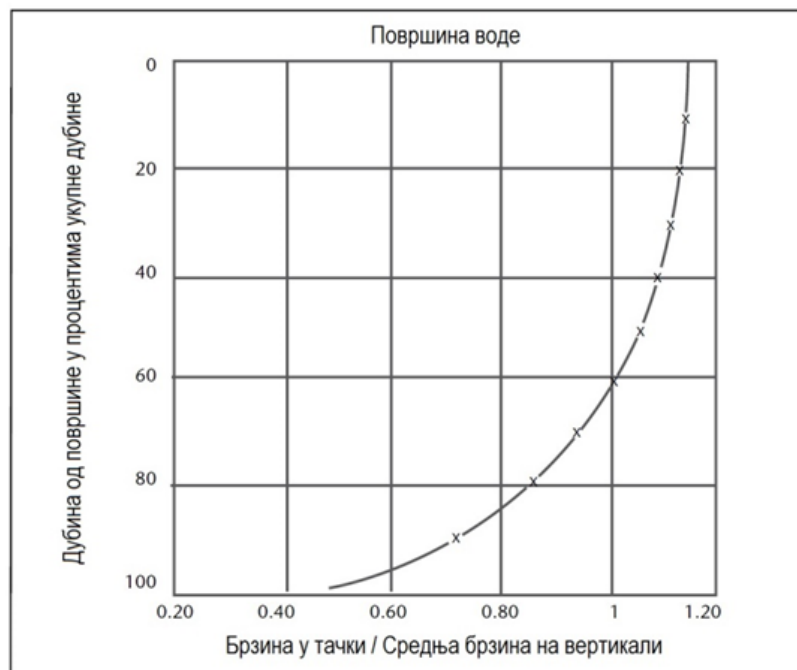
Интеграциона метода се класификује као алтернативна метода за одређивање средње брзине у вертикали.

5.8.1. Метода распореда брзине у вертикали

Код методе распореда брзине у вертикали, потребно је извршити серију мерења брзине у тачкама које су по дубини правилно распоређене на свакој мерној вертикали од површине воде до дна корита. Ако постоји значајнија закривљеност у доњем делу линије распореда брзине у вертикали, препоручује се да се у близини речног дна изврши више мерења у гушће распоређеним тачкама. По овој методи, мерења на вертикали треба да се раде у тачкама на сваких 0,1 дубине, између 0,1 и 0,9 дубине. Мерења брзине у тачки се овде обавезно раде на 0,2, 0,6 и 0,8 дубине, тако да се резултати мерења добијени овом методом могу поредити са оним методама које се уобичајено примењују за мерења брзине.

Линија распореда брзине за сваку вертикалу заснива се на измереним брзинама које се на дијаграму цртају наспрам дубине. Како би се линије распореда брзине могле упоређивати, уобичајено је да се дубине на графику приказују као процентуални делови укупне дубине. Средња брзина у вертикали се добија планиметрисањем / мерењем површине између криве и ординате, делећи затим добијену површину дужином ординате.

Метода линије распореда брзине је значајна за одређивање коефицијената који се примењују на резултате мерења добијене другим методама. Ова метода није генерално усвојена за рутинска мерења протока зато што захтева додатно време да би се прикупили подаци са терена и срачунала средња брзина.



Слика 4. Стандардна линија распореда брзине

Опсежним истраживањима (Hulsing, Smith, Cobb) спроведеним 1966. године дефинисана је стандардна линија распореда брзине (Слика 4, Табела 1.).

5.8.2. Метода 0,6 дубине

Код методе 0,6 дубине, мерење брзине извршено у једној тачки вертикале на 0,6 дубине испод површине воде, узима се за средњу брзину у вертикали. Стварна мерења и математичка теорија показују да метода 0,6 дубине даје поуздане резултате (видети Табелу 1.), а да се генерално примењује под следећим условима:

- а) увек када је дубина мања од 0,75 m;
- б) када велика количина кашастиг леда или бујичног материјала онемогућава да се брзина тачно измери на 0,2 дубине. Наведена појава спречава примену методе две тачке;
- в) када је крило окачено на таквом одстојању од сондажног тега које чини немогућим да се крило постави на 0,8 дубине. Ова околност спречава примену методе две тачке;
- г) када се водостај мења јако брзо па се мерење мора хитно обавити.

5.8.3. Метода 0,2 дубине

Метода 0,2 дубине састоји се од мерења брзине на 0,2 дубине испод површине воде, уз примену коефицијента за прерачунавање добијеног резултата мерења у средњу брзину у вертикали. Ова метода се углавном примењује за време мерења великих вода када су брзине велике па онемогућавају сондирање дубина или постављање крила у тачку вертикале на 0,8 или 0,6 дубине.

Потребно је имати стандардни попречни пресек или уопштено знање о попречном пресеку на мерном месту да би се израчунала вредност 0,2 дубине у случају да је немогуће извршити сондирање дубина. Грешка може бити знатна у процењеној вредности 0,2 дубине али то се не сматра критичним зато што је тангента на линију распореда брзине у тој тачки обично готово вертикална. Метода 0,2 дубине се користи за мерење великих вода коришћењем ехо-сондера (изливања из корита). Уобичајени коефицијент за прерачунавање брзине на 0,2 дубине у средњу брзину на вертикали је приближно 0,87. Од ове методе тачније су метода две тачке и метода 0,6 дубине.

Табела 1. Коефицијенти за стандардну линију распореда брзине у вертикали

Однос дубине тачке према укупној дубини	Однос брзине у тачки према средњој брзини у вертикали
0,05	1,160
0,1	1,160
0,2	1,149
0,3	1,130
0,4	1,108
0,5	1,067
0,6	1,020
0,7	0,953
0,8	0,871
0,9	0,746
0,95	0,648

5.8.4. Метода “површинске тачке” и метода потповршинске тачке

Методе површинске и потповршинске тачке састоје се од мерења брзине при површини воде или на малој дубини испод њене површине. Ова мерења се могу обављати коришћењем оптичког крила или мерењем времена проласка пловака. За мерење површинске брзине могу се користити стационарни и мобилни радари. За потповршинска мерења користе се хидрометријска крила постављена у тачки која треба да буде на дубини од најмање 0,6 m испод површине воде да би се избегао утицај површинских поремећаја. Ове методе се примењују првенствено код дубоких и врло брзих водотока где је немогуће или веома опасно сондирати дно и мерити брзину у тачкама на 0,2, 0,6 и 0,8 дубине.

Овде су неопходни коефицијенти за прерачунавање површинских и потповршинских брзина у средњу брзину у вертикали. Линије распореда брзине у вертикали добијене на одређеном мерном месту представљају најбољу методу за прорачун тих коефицијената. Међутим, те коефицијенте је генерално тешко одредити пошто они могу варирати са водостајем, дубином и позицијом у мерном пресеку. Искуствено је потврђено да ти коефицијенти генерално имају распон између 0,84 и 0,90 у зависности од облика линије распореда брзине у вертикали. Веће вредности коефицијента су обично повезане са глатким дном речних корита и нормално обликованим линијама распореда брзине у вертикали, док су ниже вредности ових коефицијената повезане са неправилним речним дном и неправилним линијама распореда брзине у вертикали.

5.8.5. Метода две тачке

Метода две тачке подразумева мерење брзине у свакој вертикали на 0,2 дубине и 0,8 дубине, мерено од површине воде надолу. Просек из та два мерења узима се за средњу брзину у тој вертикали. Ова метода се заснива на великом броју студија које су се бавиле стварним мерењима и математичком теоријом. Искуство је показало да ова метода даје конзистентне и тачније резултате од било које друге методе, са изузетком методе линије распореда брзине. У Табели 1. показано је да метода две тачке даје резултате који падају у појас од 1 % од истините средње брзине у вертикали, ако линија брзине у вертикали има суштински параболички облик.

Метода две тачке је метода која се генерално примењује за дубине од 0,75 m и веће. Ова метода се не примењује за дубине мање од 0,75 m зато што би крило било превише близу површине воде и превише близу речном дну, што би давало међузависне резултате.

Линија распореда брзине ће бити деформисана када има вегетације у додиру с водом, или ако има потопљених објеката у близини вертикале која треба да се мери. Где се ово дешава, метода две тачке неће дати поуздану вредност средње брзине у вертикали тако да је потребно обавити додатно мерење на 0,6 дубине. Тада ће три измерене брзине на вертикали представљати методу три тачке. Груби тест који даје одговор на питање да ли су брзине на 0,2 дубине и 0,8 дубине довољне за одређивање средње брзине у вертикали, дат је у следећем критеријуму: брзина измерена на 0,2 дубине треба да буде већа од брзине измерене на 0,8 дубине, али мање од двоструко.

5.8.6. Метода три тачке

Метода три тачке се састоји у мерењу брзине у тачкама на 0,2 дубине, 0,6 дубине и 0,8 дубине, тако да је то комбинација методе две тачке и методе 0,6 дубине.

Најпожељнији начин за прорачун средње брзине у вертикали је да се осредње резултати мерења у тачкама на 0,2 и 0,8 дубине, а онда тај резултат да се осредњи са резултатом мерења на 0,6 дубине. Међутим, када се жели дати већа тежина мерењима у тачкама на 0,2 и 0,8 дубине, онда може да се користи аритметичка средина сва три мерења.

Метода три тачке има примену када брзине у вертикали имају изразито неправилну расподелу. Такође су погодна када је мерење на 0,8 дубине под веома јаким утицајем трења или турбуленције због близине дна корита или неке препреке у водотоку. Ова метода се примењује за дубине веће од 0,75 m.

5.8.7. Метода пет тачака

Мерења брзине се врше у тачкама вертикале на 0,2, 0,6 и 0,8 дубине, мерено од површине ка дну, и толико близу површини воде и речном дну колико је то практично изводљиво. Критеријуми дати у SRPS EN ISO 748 за мерења крилом у тачкама при површини и при дну, захтевају да хоризонтална осовина ротора не буде позиционирана на одстојању од површине воде које је мање од 1,5 пута висине ротора, и на одстојању од дна које је мање од 3 висине ротора. Ниједан део крила не сме да се види да вири из воде кад се мери у тачки при површини воде.

Измерене брзине у пет тачака цртају се на графикону, а планиметрисањем се срачунава средња брзина у вертикали, што је објашњено код методе линије распореда брзине у вертикали. Алтернативно, средња брзина се може срачунати из једначине:

$$v = 0.1 (v_{повр.} + 3 v_{0.2} + 3 v_{0.6} + 2 v_{0.8} + v_{дно}) \quad (5.8)$$

5.8.8. Метода шест тачака

Метода шест тачака се може користити у ситуацијама када се зна да постоји, или се у то сумња, дисторзија линије распореда брзине у вертикали; на пример, тамо где има акватичког растиња, испод ледене коре. Мерења брзине раде се у свакој вертикали у тачкама 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8 дубине, мерено од површине воде ка дну, још једној тачки испод површине воде и у једној тачки врло близу дна корита. Критеријуми за мерења близу површине воде и близу дна корита, дати су код методе пет тачака.

Мерења брзине у тачки која су извршена на шест позиција у вертикали, цртају се на х-у графику, а средња брзина у вертикали се одређује планиметрисањем површине ограничене линијом брзине у вертикали и у-осом. Алтернативно се средња брзина може израчунати из једначине:

$$v = 0.1 (v_{повр.} + 2 v_{0.2} + 2 v_{0.4} + 2 v_{0.6} + 2 v_{0.8} + v_{дно}) \quad (5.9)$$

5.8.9. Интеграциона метода

Код интеграционе методе крило се спушта у вертикали до дна корита а затим подиже до површине воде равномерном брзином. Померањем крила у вертикали надоле-нагоре одређен је укупан број обртаја ротора и укупно протекло време, на основу чега се из таблице добија средња брзина у вертикали.

Брзина којом се крило спушта или подиже не треба да буде већа од 5 % средње брзине тока, а ни у ком случају не треба да буде већа од 0,04 m/s. Два пуна циклуса треба да се обаве у свакој вертикали и ако се резултати разликују за више од 10 %, поступак (два комплетна циклуса) треба понављати док се не добију резултати унутар тих граница.

За елисна крила просечна брзина у вертикали се одређује из калибрационе једначине преко просечног броја обртаја (укупног броја обртаја подељеног укупним временом мерења у тој вертикали). Треба избегавати увођење неизвесности коришћењем крила која имају више од једне једначине калибрације.

Ако се користи крило које директно мери брзину, као што је електромагнетно крило, средња брзина у вертикали се може добити директним читавањем инструмента.

Тачност мерења ове методе зависи од вештине оператера да обезбеди равномерну брзину померања крила. Мана ове методе је непостојање могућности мерења брзине при дну речног корита пошто се крило не може поставити толико ниско. Зато су потребни коефицијенти мањи од јединице за кориговање осмотрене интеграционе брзине.

5.9. МЕРЕЊЕ ДУБИНЕ

Дубина воде у одабраној вертикали попречног пресека водотока може да буде измерена на неколико начина у зависности од типа мерења која се раде, укупне дубине водотока и брзине тока. Дубина тока се уобичајено мери коришћењем сондирке за гажење, сондажне челичне ужади или ехо-сондера, што се описује у наредним одељцима.

5.9.1. Коришћење сондирке за гажење

Сондирка се користи за мерења дубине тока када је вода довољно плитка да се може применити метода мерења гажењем или када се мерење ради са ниског моста или неке друге платформе на којој оператер може да стоји изнад водотока. Сондирке се могу користити са чамца када вода није превише дубока. Штангла која се саставља од делова, може да се направи да буде било које дужине, али генерално се користи само до дубина од око 3 m. Проблем могу бити велике брзине, јер ће ометати оператера да усправно и чврсто држи сондирку у месту.

Сондирке имају малу стопу, на доњем крају, која треба да обезбеди чврсто постављање сондирке на речно дно како не би утонула у нанос на дну корита, што се може десити. Када је речно дно мекано понекад је тешко одржавати сондирку и спречавати да у њега не утоне. Укупна маса штангле и крила плус ерозивна моћ речне струје могу да изазову утонуће стопе у речно дно. У таквим околностима оператер мора да пази и буде сигуран да је дубина воде и дубина на коју се позиционира крило, измерена тачно од површи речног дна. Постоје случајеви када се може захтевати некакво другачије ослањање сондирке (без опирања о речно дно).

Када се сондирка користи у рекама са повећаним брзинама течења, појавиће се повишење нивоа од брзинске висине на узводној страни сондирке. Тада се дубина водотока одређује у оној тачки сондирке где површина воде пресеца сондирку, а никако на узводној страни где је динамички повишен ниво.

5.9.2. Коришћење сондажне ужади и тегова

Дубина воде се мери сондажном ужади са теговима када је дубина превелика за коришћење сондирке и када су хидролошки услови такви да се мора мерити са моста, жичаре или чамца. Овде се описују мерења дубине коришћењем винди и ручних сајли. Такође су објашњене процедуре за кориговање измерених дубина у случају великих брзина које низводно повлаче сондажни тег са крилом.

Коришћење винди за сондирање - Када се користи неки од типова винди описаних у претходном одељку, за одређивање дужине отпуштеног сондажног ужета користи се бројач или бројчаник. Дубине се мере до најближег центиметра (0,01 m) при употреби сондажне ужади са теговима.

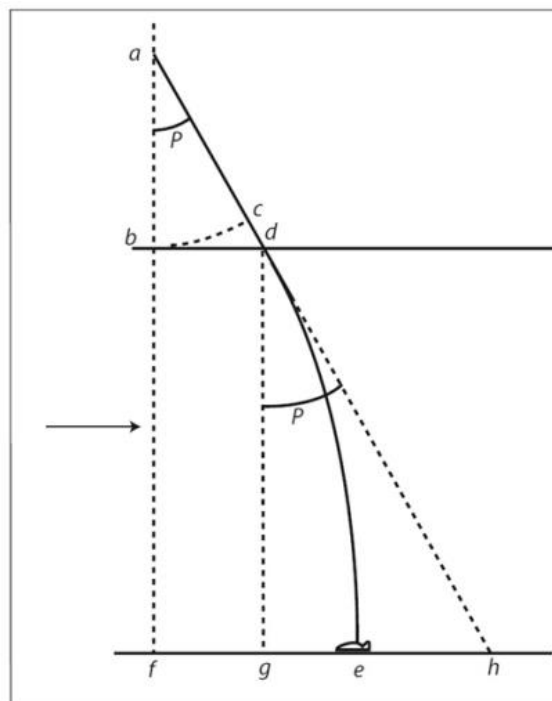
Величина сондажног тега која се користи за хидрометријска мерења зависна је од дубине и брзине у попречном пресеку тока. Сматра се да је на страни сигурности да маса тега (у kg) буде више него петоструко већа од производа брзине (у m/s) и дубине (у метрима), измерених у том попречном пресеку. Ако тег нема довољну масу доћи ће до његовог низводног закошења због повлачења у смеру тока. Увек када има бујичних наплавина или пливајућег леда или је водоток плитак а брз, треба узети тежи тег. Ово није строго правило али зато обезбеђује стартну позицију за одлуку о потребној величини тега. Увек треба погледати забелешке са претходних мерења на том мерном месту ради одређивања величине тегова који одговарају разним водостајима.

Коришћење ручне сајле - Када се користи ручна сајла, гола челична сајла треба да се довољно одмота са ручног котура тако да када сондажни тег стигне до дна у најдубљој тачки попречног пресека, ручни котур мора да остане изван воде. Када се мери са моста, спуштање и подизање сондажног тега са крилом треба да се ради са гумираном челичном сајлом, а не са голом челичном сајлом.

Уобичајени поступак за одређивање дубине је постављање крила на површини воде и затим спуштање сондажног тега до дна корита при чему се мери дужина сајле која је потребне да се достигне дно. Кад је крило постављено у тачки у којој треба да читава брзину, сајла се везује за ограду моста да држи крило у тој тачки. А то чини руке слободним за записивање података.

5.9.3. Корекције дубине за низводно повлачење сондажног тега

Отклон сондажног челичног ужета од вертикале може бити значајан, посебно у дубокој води при великим брзинама што утиче на тачност сондирања.



Слика 5. Отклон сондажног ужета од вертикале

Ефекат отклона челичног ужета може се смањити употребом хидродинамички обликованог сондажног тега окаченог о танко челично уже.

Корекција се примењује на (неоквашену) дужину ужета изнад воде и (оквашену) дужину челичног ужета у води уколико оно није управно на површину воде. Препоручује се да угао отклона челичног ужета од вертикале не буде већи од 30 степени, у супротном укључена мерна неизвесност ће бити значајна. На Слици 5. корекција неоквашеног дела ужета изнад воде је приказана као растојање cd . Корекција оквашеног дела ужета једнака је разлици између дужине оквашеног дела ужета de и дубине у вертикали dg .

Процентуална корекција коју треба применити за измерену дужину ужета изнад воде за углове до 30 степени дата је у Табели 2.

Табела 2. –Корекција дужине неоквашеног дела челичног ужета

Вертикални угао	Корекција %	Вертикални угао	Корекција %
4°	0,24	18°	5,15
6°	0,55	20°	6,42
8°	0,98	22°	7,85
10°	1,54	24°	9,46
12°	2,23	26°	11,26
14°	3,06	28°	13,26
16°	4,03	30°	15,47

Корекција дужине оквашеног дела сондажног ужета (видети Табелу 3.) израчунава се на основу претпоставки да хоризонтална сила вучења која делује на тег у приближно стајаћој води близу дна може бити занемарена, да је расподела брзине у вертикали правилна и да су челично уже и сондажни тег таквог облика да пружају мали отпор речној струји.

Табела 3. Корекција дужине оквашеног дела челичног ужета

Вертикални угао	Корекција %	Вертикални угао	Корекција %
4°	0,06	18°	1,64
6°	0,16	20°	2,04
8°	0,32	22°	2,48
10°	0,50	24°	2,96
12°	0,72	26°	3,50
14°	0,98	28°	4,08
16°	1,28	30°	4,72

Корекције у овој табели су у процентима дужине оквашеног дела челичног ужета (према ISO/TR 9209).

Исти узрок који уводи грешку у сондирање дубине доводи и до грешке у постављању крила на одабраној дубини на вертикали. Очитана дубина крила уроњеног у дубоку брзу воду биће већа од стварне дубине. Коришћењем наведених табела ова грешка у постављању крила може се елиминисати, иако се оне строго узевши не могу примењивати за ове намене, оне се примењују у пракси.

5.9.4. Коришћење ехо-сондера

Ехо-сондер је описан у претходном одељку овог извештаја, а користи се првенствено за мерење дубине када се врше мерења методом покретног пловила, и генерално, не користе се за мерења дубине тамо где се могу користити сондажни тегови. Међутим, ехо-сондери се могу користити у врло брзим водотоцима оптерећеним наносом, тамо где су јако отежани услови за обављање мерења или је превише опасно да би се сондажни тег са крилом урањао у воду. Ехо-сондер ће већ имати забележену дубину док је тег уронио под воду. За мерења покретним пловилом ехо-сондер бележи континуални траг речног дна на графикону.

5.10. ПРОЦЕДУРА МЕРЕЊА ПРОТОКА

Процедуре за разне методе мерења коришћењем крила су описане у следећим одељцима. Тиме је обухваћен избор мерног места, позиционирање мерних вертикала, мерење дубине, мерење брзине, правац и смер течења, вођење записника мерења. Додатни детаљи који се тичу специфичне методе мерења, као што је гажење, жичара, мост, пловило, ледена кора, дати су у наредним одељцима. Такође дате су специфичне процедуре, као што је паралелно повезивање крила, мерење дубоких брзих водотока, мерење протока при врло брзим променама водостаја.

Редовни поступак, након избора и успостављања мерног попречног пресека, састоји се у мерењу и записивању на свакој мерној вертикали:

- а) удаљености од почетне тачке на обали,
- б) дубине,
- в) позиције крила у тачки,
- г) броја обртаја елисе,
- д) дужине периода мерења у тачки,
- е) хоризонталног угла тока код закошеног струјања.

Почетна тачка може се изабрати на било којој од обала. Линија уреза воде где је дубина воде једнака нули, узима се за прву вертикалу. Техничар који врши мерење треба да се помера редом од једне до друге мерне вертикале и да понавља исти поступак у свакој вертикали попречног пресека, све док не стигне до друге обале, када је мерење завршено.

5.10.1. Избор мерног места

Први корак у вршењу мерења крилом је избор мерног попречног пресека жељених особина. Уколико се река из разних разлога не може мерити гажењем, мерења великих вода се раде са моста или жичаре, хидротехничару није остављено много избора када доноси одлуку о избору мерног попречног пресека. Уколико се река може мерити гажењем или се мерење може радити са чамца, хидротехничар тражи попречни пресек следећих карактеристика, што је наведено у стандарду SRPS EN ISO 748:

- а) Деоница тока на којој се налази мерно место треба да буде права и са једноликим попречним пресеком и равномерним подужним падом да би распоред брзине био што правилнији.
- б) Струјнице у свим тачкама одабраних мерних вертикала по ширини тока, треба да буду међусобно паралелне и управне на раван мерног пресека.

- в) Дно корита треба да буде стабилно и без крупног камења, не сме да буде клада и пањева и других препрека које би могле да стварају вирове, тишаке и турбулентан ток;
- г) Линије распореда брзине треба да буду правилне у вертикалној и хоризонталној равни мерења.
- д) Услови у самом мерном пресеку и у његовој близини треба да буду такви да искључе појаву промене распореда брзине током мерења.
- е) Места са израженим вртложењем, повратним течењем или зонама мртве воде, треба избегавати.
- ж) Мерно место треба да буде прегледно по целој ширини, без дрвећа и шибља на обалама, акватичног растиња и других препрека које ометају прегледност.
- з) Дубина воде у пресеку треба да буде довољна да се при свим водостајима оствари захтевано урањање хидрометријског крила.
- и) Прилаз месту са свом неопходном мерном опремом треба увек да буде приступачан.
- к) Мерни пресек треба да буде лоциран даље од захвата, бочних канала са уставама и изливних грађевина, због могућности да би њихов рад могао да, током обављања мерења, ствара услове неконзистентне са природном везом водостај–проток на станици.
- л) Места на којима се речни ток спаја, или рачва у више рукаваца, треба избегавати.
- м) У оним случајевима када је неопходно вршити мерења у близини моста, боље је мерити са узводне стране моста. Али у посебним случајевима, као код појава бујичних наноса или нагомилавања леда, прихватљиво је да мерни пресек буде са низводне стране моста. Треба бити изузетно пажљив при одређивању распореда брзине када су отвори моста сасвим испуњени (потопљени).
- н) Може се испоставити, за неке домене протока или водостаја, да је неопходно да се мерења хидрометријским крилом врше у другим мерним пресецима, а не у профилу станице. То је сасвим прихватљиво уколико нема значајних неидентификованих губитака или дотока на деоници између тих профила и све док се сва мерења протока односе на водостаје који се бележе у референтном профилу станице.
- о) Мерни пресек може да буде релативно удаљен од станице али на бесприточној деоници како би се избегао утицај притоке, али не сувише удаљен од станице како би се избегао утицај разлике у запремини при врло брзим променама водостаја.

Дешава се да није могуће истовремено испунити све набројане захтеве. Зато прво треба одабрати најбољу могућу речну деоницу на основу тих критеријума, па тек онда одабрати мерни пресек.

5.10.2. Распоред и позиционирање парцијалних сегмената и вертикала

Након избора попречног пресека, треба одредити ширину водотока. Када се мерења обављају гажењем, са чамца, са леда или са моста на којем нису уцртане ознаке на огради, треба развући мерну пантљику или градуисано уже. Пантљика, или уже, се развлачи под правим углом у односу на правац тока да би се избегло увођење хоризонталних углова у мерни пресек; али ово не важи за изграђене мостове са којих се

врше мерења протока. За мерења помоћу жичаре или са моста користе се ознаке које су раније већ нанете на ужету жичаре или огради моста. Стандардом SRPS EN ISO 748 дата је комплетна процедура мерења ширине.

При избору позиција мерних вертикала и сегмената треба водити рачуна да парцијални/делимични проток буде мањи од 10 % од очекиваног укупног протока.

5.10.3. Мерење дубине

У свакој мерној вертикали прво се мери дубина тока. Дубина тока треба да се мери коришћењем одговарајуће опреме по процедури која се примењује за одабрану методу мерења (а то су мерење гажењем, мерење са моста, мерење коришћењем жичаре, мерење са чамца/брода, мерење у условима делимично залеђеног водотока). Детаљи о мерењима дубине коришћењем разних типова опреме за различите услове течења већ су дати у претходним поглављима овог упутства.

5.10.4. Мерења брзине

Након што је дубина у вертикали измерена и забележена, треба одлучити која ће се метода мерења брзине применити. Уобичајено је да се одабере или метода две тачке или метода 0,6 дубине. Према захтеву примењене методе треба израчунати дубину тачке на вертикали у коју ће се крило поставити. Након што је крило постављено на траженој дубини, треба га пустити да, пре почетка читавања брзине, крило само подеси свој смер у односу на речну струју. Време потребно за ово подешавање је обично свега пар секунди ако су брзине веће од око 0,3 m/s, али за мање брзине, а поготово када се крило веша о сондажно уже, потребан је дужи временски период. Након што се крило правилно поставило према речној струји, треба бројати обртаје ротора у периоду од 60 секунди.

Треба записати број обртаја и временски интервал. Ако брзину треба очитати у више него у једној тачки вертикале, онда треба подесити крило за додатно читавање на одговарајућу дубину, измерити време и број обртаја и записати те податке.

Број обртаја, временски интервал (и локална брзина) уписују се у теренски записник хидрометријског мерења. При мерењу врло малих брзина мора се јако пазити, када се користи крило и бројач обртаја, да не дође до мултипликованог бројања. Ово се понекад може утврдити тако што се визуелно прати обртање ротора и истовремено ослушкују звучни сигнали бројача обртаја.

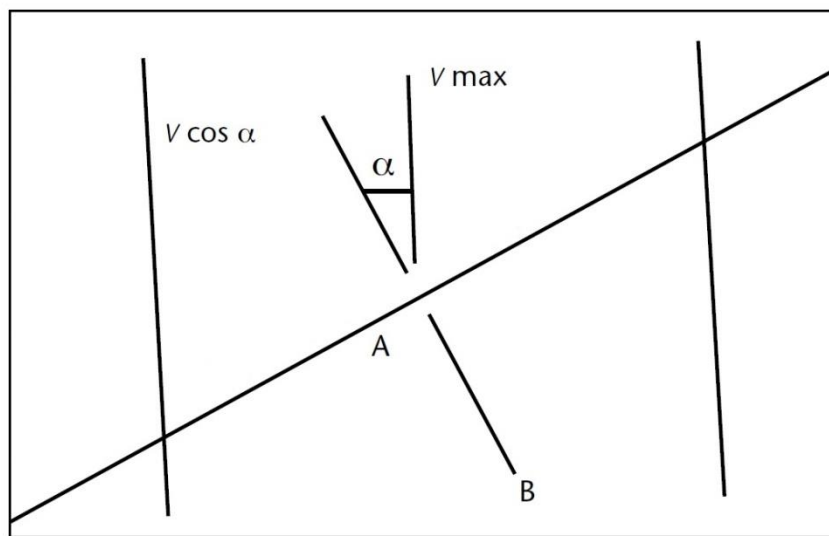
5.10.5. Одређивање правца и смера течења

Ако се закошено течење (косо струјање) не може избећи, мора се мерити угао правца течења према нормали на попречни пресек, а измерену брзину треба кориговати. Постоје посебни уређаји за једновремено мерење угла и брзине у тачки. Међутим, тамо где они нису на располагању и где утицај ветра није значајан може се узети да је угао течења кроз целу вертикалу исти као онај који је измерен на површини воде. Тај угао се може мерити одговарајућом опремом, са тим да се руковалац налази изнад мерне вертикале. Ако је водоток врло дубок или ако се профил дна брзо мења, ова претпоставка се не сме прихватити без потврђивања.

У овом поглављу ће се размотрити проблем речних струја које у мерни пресек улазе под косим углом α , као што је приказано на Слици 6. Треба обратити нарочиту

пажњу на правац течења, из разлога што је компонента брзине која је управна на мерни пресек (А) она коју је потребно одредити мерењем.

Ако се за мерења методом гажења, користи крило са хоризонталном осовином које има елису као обртни елемент, на пример Отово крило, елиса треба да буде усмерена узводно под правим углом према попречном пресеку, али само ако је угао α мањи од 45 степени. Тако ће се регистровати жељена компонента брзине управна на попречни пресек (А) али под условом да је угао α мањи од 45 степени. Исту процедуру треба користити за мерења електромагнетним крилом. Ова крила такође мере компоненту брзине управну на мерни пресек. За било који од два типа крила, уколико је α већи од 45 степени, за крило усмерено директно у речну струју мора да се примени корекција за хоризонтални угао.



Слика 6. Мерни пресек са косим струјањем

Свако крило овешано о сондажно уже, аутоматски ће се усмерити у речну струју. Када се крило усмери у закошено струјање, измерена брзина мора да се помножи косинусом угла α , који заклапа вектор речне струје и нормале на мерни пресек (В), како би се добила жељена нормална/управна компонента брзине.

5.10.6. Бележење у теренске записнике мерења

Вођење забелешки на стандардном обрасцу - За сваки запис мерења потребне су, као минимум, следеће информације на предњем листу хидрометријске књижице:

- а) Назив станице, водотока, локација и идентификациони број, да би се коректно идентификовала водомерна станица;
- б) Датум, тип и број крила, тип и број елисе, начин вешања крила;
- в) Време када је започето мерење;
- г) Тип мерења и локација мерења у односу на станицу;
- д) Очитани водостаји и одговарајућа времена очитавања;
- е) Температура воде;
- ж) Битне информације које се тичу тачности мерења протока и услови који би могли утицати на зависност водостај-проток;
- з) Преостале ставке се обично попуњавају након што је мерење обављено и извршени прорачуни.

На унутрашњој страни књижице, треба идентификовати тачку попречног пресека од које започињу мерења или као ЛО или ДО (што значи леви односно десни урез воде, са тим што су стране лева-десна обала одређене тако што хидротехничар гледа низводно) и записати време када је мерење започело. Ако се очекује значајна промена водостаја током хидрометријског мерења, потребно је да се током мерења у попречном пресеку повремено записује и време рада у средишњим мерним вертикалама. Ако је могуће, то време би требало синхронизовати са временским интервалом у којем дигитални рекордер или дата-логер врши запис водостаја. Забележена међу-времена су јако важна у случају да постоји осетна и мерљива промена у водостају при мерењу протока. Ова записана времена користе се за одређивање интерполованих вредности водостаја, које се затим користе за прорачун тежински осредњених меродавних водостаја, што је даље описано у овом тексту. Када је мерење протока завршено треба записати време завршетка мерења, као и ознаку за обалу (лева, десна) на којој се завршава мерни пресек.

Мерење протока започети бележењем измереног растојања од почетне тачке на обали до уреза воде. Измерити и забележити дубину воде и брзину на урезу. Наставити кроз попречни пресек тока са бележењем измереног одстојања сваке мерне вертикале од почетне тачке на обали, измерене дубине у вертикали, измереног броја обртаја у задатом периоду за мерење у свакој одабраној мерној тачки вертикале, као и коефицијент хоризонталног угла ако није једнак јединици (случај закошеног течења).

Извршити све потребне прорачуне који се записују у књижицу, како би се одредили ширина, површина и проток. Генерално се очекује да ови прорачуни буду завршени и књижица комплетна још на водомерној станици.

Није дозвољено брисање оригиналних записа мерења протока. Ово укључује следеће ставке: очитане водостаје, измерена растојања, дубине, обртаје елисе крила, времена мерења, углове закошења, и друге записе теренског мерења који се не могу поновити. Уколико је извршено поновљено мерење променљиве па је неопходно да се изврши измена у оригинално записаној вредности те величине, то се мора посебно означити, а ново мерење које је обављено треба записати изнад или поред поништеног оригиналног записа. Оригинални запис треба да остане читљив иако је означен и одбачен. Међутим, може се дозволити да се избришу срачунате вредности као што су брзине, површине, ширине и проток.

5.10.7. Мерење крилом методом гажења

Метода гажења сматра се основном код избора начина мерења брзине коришћењем хидрометријског крила, уколико услови на мерном месту то дозвољавају. Мерења гажењем имају значајне предности у односу на мерења са моста у томе што је обично могуће да се између неколико попречних пресека одабере мерни пресек који има тренутно најповољније услове течења.

Хидрометријска крила са елисом пречника од 100 mm или већег, не треба да се користе за дубине мање од 0,30 m зато што ће на рад елисе неповољно утицати близина дна корита.

5.10.8. Мерење крилом коришћењем жичаре

Када се мерења раде коришћењем жичаре, може се користити крило са елисом по правилу у комбинацији са сондажним теговима и виндама, што је већ раније објашњено. Позиционирање вертикала за потребе мерења ширине се обично врши

преко ознака на вођици и вучној сајли жичаре. Брзина у тачки мерне вертикале мери се постављањем крила у одговарајућу тачку вертикале. Не треба радити мерења у тачки на дубини мањој од 0,15 m у односу на површину воде. Ово из разлога што се код мерења брзине тада могу добити погрешни резултати.

За време трајања великих вода (поплава) увек је присутна опасност да се потопљени или плутајући предмети у водотоку који иду низводно великом брзином не сударе са подводном опремом за сондирање, оштете крило или повреде раднике. Треба вршити редовне провере да је сондажно уже жичаре инсталирано на добош по прописаној процедури, а у складу са утврђеним оптерећењем на кидање. Ово осигурава да ће сајла пући кад стигне до свог краја на добошу, чиме се спречава могуће превртање возила/гондоле. Такође је као додатно осигурање потребно носити метални секач за случај да треба пресећи сондажно уже које се није по правилу прекинуло (мада је понекад могуће скинути нахватани материјал са ужета).

Када се мерења раде са жичаре где је вода дубока и брза, треба обавезно мерити угао одступања који сондажно уже заклапа са мерном вертикалом услед повлачења сондажног тега речном струјом. Угао одступања мери се угломером, потребан је за кориговање сондирања како би се добиле тачне дубине, а ово је описано у одељку Корекције дубине због низводног повлачења речном струјом крила и тега.

5.10.9. Мерења крилом са моста

Када се водоток не може газити, треба користити мостове за мерење брзине коришћењем крила. Већина мостовских профила сматрају се задовољавајућим избором за мерни пресек за мерења крилом, али обично су профили жичара бољи. Не постоји строго правило у избору између узводне и низводне стране моста за мерење протока.

Предности коришћења узводне стране моста су:

- а) Хидрауличке карактеристике мостовских отвора са узводне стране обично су повољније. Течење је обично мирније узводно, тако да има мање турбуленција него са низводне стране моста;
- б) Надлазеће бујичне наплавине могу се лако приметити па тако лакше избегнути;
- в) Дно речног корита је са узводне стране моста мање изложено ерозији и поткопавању (продубљивању).

Предности коришћења низводне стране моста су:

- а) Углови одступања сондажног ужета од вертикале могу се много лакше измерити зато што уже има отклон од моста у смеру речне струје;
- б) Струјнице могу постати правилније након проласка кроз мостовски отвор између стубова.

Када се, код мерења крилом, бира између узводне и низводне стране моста, разматрање увек треба да се односи на конкретан мост. Треба пажљиво размотрити и све напред наведене чиниоце и физичке услове на мосту, као што су стаза за пешаке и друмски саобраћај на мосту и нагомилавање бујичног материјала на стубовима и опорцима моста.

За вешање крила и сондажног тега и њихово спуштање са моста у водоток, треба користити ручну сајлу, сондажни котур намештен на ограду моста или преносиву винду. Мерење дубина је описано у одељку о мерењу дубина. Мерење брзине се ради тако што се крило постави у одређену позицију у вертикали. Када су брзине велике,

опрему треба држати на одстојању од стубова и опораца моста пар метара (најмање 1 m). Брзина уз стубове и опорце се процењује на основу резултата мерења брзине у најближој мерној вертикали.

Ако у попречном пресеку има више стубова, обично ће бити потребно да се мерни пресек подели на 25 до 30 делимичних сегмената да би се добили резултати исто тако поуздани као да у пресеку нема стубова. Стубови обично проузрокују хоризонталне углове закошења који морају да буду пажљиво измерени. Стубови исто тако проузрокују појаву врло брзих промена бочне компоненте вектора брзине у мерном пресеку.

Постоји могућност искључења површине мостовских стубова из површине попречног пресека али то у принципу зависи од релативног положаја мерног сегмента у односу на крај стуба. Уколико се мерење ради са узводне стране моста, то је онда релативни положај узводног краја стуба који је релевантан. За мерења рађена са низводне стране, то је онда положај низводног краја стуба који је релевантан. Ако било који део стуба улази у мерни попречни пресек, површина стуба се искључује. Међутим, мостови јако често имају конзолне греде на којима су стазе за пешаке, са којих може да се раде мерења протока. У таквом случају мерни попречни пресек лежи изван краја стуба (од узводног или низводног краја, у зависности која се страна моста користи за мерење). У тој ситуацији, то је положај и правац струјница који одређују да ли је, или није, потребно искључити површину стуба. Уколико хидротехничар није раније разматрао проблем позиционирања стране стуба када је планирао мерни попречни пресек, учиниће то на лицу места. Уколико нема низводног течења у зони стуба, или је то течење занемарљиво мало, тада стуб треба искључити. Уколико има само стагнације и/или турбуленције узводно или низводно од стуба, било која страна да се посматра, површина стуба се искључује. Уколико има значајног низводног течења у зони стуба, онда стуб треба укључити у површину мерног попречног пресека. А у овом задњем случају хоризонтални углови закошења струјница уз сам стуб и у близини стуба могу бити врло велики.

Понекад се користе нижи пешачки мостови за мерења на мањим водотоцима. У таквим случајевима се може користити сондирка за качење мерне опреме. Процедура одређивања дубине при малим брзинама иста је као када се мерења раде методом гажења. Када су у питању веће брзине, дубина се добија као разлика читавања на мерној скали сондирке две вредности: растојања до површине воде које се добија када се сондирка са базном плочом спусти са моста до површине воде а базна плоча је додирне, и растојања до дна корита које се читава када базна плоча додирне дно. Мерење дубине на овај начин ће елиминисати грешке проузроковане подизањем нивоа на узводној страни штангле (када се мери гажењем). Са пешачког моста се такође користе ручне сајле, винде/дизалице, конзолне плоче на огради моста.

Када се раде мерења са моста, безбедност радника представља примарни проблем о коме треба водити рачуна. Друмски саобраћај може представљати главни ризик тако да више није дозвољено да се раде мерења протока са неких мостова на магистралним путевима (у САД). Обавезно треба поставити одговарајуће саобраћајне ознаке при мерењу са моста.

Исте безбедносне мере које се тичу грања, пањева и дебала који плутају или су делимично или сасвим потопљени, морају да се размотре на исти начин који је претходно описан за жичаре.

5.10.10. Мерења крилом са залеђене коре на реци

Мерења протока воде испод залеђене коре, мора да се ради под најсуровијим климатским условима зато што је то од изузетног значаја и што велики део записа протока у зимском периоду може зависити од једног или два таква мерења.

Потенцијалне локације попречних пресека за мерења са залеђене коре треба изабрати у делу године када река тече као отворени ток, пошто се тада може извршити оцена физичко-хидрауличких услова. Уобичајено је да ће најподеснији мерни пресек бити непосредно узводно од неког стеновитог прага у кориту због тога што се желатинасти лед (ледена каша) накупља са доње стране залеђене коре па је лед најдебљи тамо где је узводни крај успора, затона умирене воде којег ствара природни праг. За извођење оваквих мерења потребна је одговарајућа опрема за бушење и сечење ледене коре.

5.10.11. Мерења крилом са стационарног пловила

Мерења протока се раде са пловила (чамца или брода) када у близини нема жичара или одговарајућих мостова, а дубина тока је превелика да би се могло мерити методом гажења. Мерења АДЦП-ом са покретног пловила у новије време постају стандардни оперативни поступак мерења у овим условима и у великој мери су заменила овај метод. На токовима који имају велику брзину, лична безбедност посаде је основни ограничавајући фактор при коришћењу пловила.

За мерење са пловила без обзира да ли се користи механичко крило или АДЦП, изабере се потез који има особине сличне онима описаним у претходном одељку "Избор локације", осим оних наведених у ставкама које се односе на дубину и брзину. При мерењу са пловила нема потребе да се размишља о дубини, јер ако је ток превише плитак да пловило плута, ток се обично може прегазити. Брзина, међутим, представља важан фактор.

Ако су брзине сувише мале, осцилаторно кретање пловила, при коме се пловило (иако је причвршћено на градуисано уже) помера узводно и низводно као резултат дејства ветра, може утицати на мерења механичким хидрометријским крилом. Вертикално кретање пловила које настаје као резултат дејства таласа такође може утицати на мерење. Ако су брзине велике, може бити отежано затезање градуисаног ужета преко тока.

Ако је изводљиво да се користи градуисано уже за мерење са пловила, треба га поставити на мерни пресек тако што се одмотава док се пловило креће преко тока. Након што је уже развучено преко тока, затегне се помоћу ручице на витлу и причврсти на погодан носач на обали. Ако постоји речни саобраћај, једна особа мора бити на обали да спусти и подигне уже да би се омогућио пролаз других пловила. Треба ставити ознаке или плутаче на градуисано уже, тако да буде видљиво руковаоцима других пловила. Ако постоји стални речни саобраћај, или ако је ширина реке превелика за постављање ужета, биће потребна друга средства за постављање брода у мерни профил. Мерење ноћу из пловила се не препоручује због разлога сигурности.

Када се не користи уже, пловило се може поставити у попречни пресек коришћењем заставица (трасирки) постављеним на обале у мерном пресеку. Заставице постављене на једној обали су довољне, али је боље да се поставе на обе обале. Положај пловила у попречном пресеку може да се одреди помоћу неке геодетске методе. Положај пловила се такође може одредити помоћу диференцијалног глобалног

система позиционирања са исправкама (DGPS). Ова метода је нарочито корисна на широким рекама и при мерењу великих вода у инундацијама, где друге методе одређивања положаја пловила нису применљиве. Ако није могуће сидрење, пвило се мора држати у месту мотором док се мере дубине и брзине.

Не треба мерити брзине мање од 0,30 m/s када је пвило под утицајем речних таласа. Померање пловила (и крила) навише и наниже озбиљно утиче на мерење брзине. Ако је максимална дубина у попречном пресеку мања од 3 m и брзина је мала, може се користити сондирка за мерење дубине и постављање крила. За веће дубине и брзине, треба користити сондажно уже са тегом. Поступак мерења са стационарног пловила коришћењем дизалице исти је као и за мерење са моста или жичаре, као што је описано у претходним одељцима овог поглавља.

5.10.12. Умрежена крила у попречном пресеку

Понекад се раде специјална мерења протока која захтевају симултано мерење брзине у више тачака које у попречном пресеку могу бити распоређене или хоризонтално или вертикално. На пример, потребно је да се брзо измери брзина у вертикали при неустаљеном течењу ради одређивања промена у облику расподеле брзине у вертикали као и темпо тих промена. У другом примеру, када се раде мерења на рекама које су под утицајем плиме/осеке, препоручљиво је да се укупни проток мери континуално за време пуног циклуса плиме, а то је најмање 13 сати. Ово може бити врло скуп и мукотрпан процес када мора да се користе крила и конвенционална метода мерења брзине у тачки.

5.10.13. Мерења протока дубоких брзих водотока

Мерење протока дубоких брзих водотока обично не представља проблем када се имају адекватни сондажни тегови а нема много бујичног материјала или ледених санти које река вуче низводно. Међутим, за овакве услове на терену, уобичајене процедуре мерења морају да буду прилагођене. Четири врсте типичних околности које се могу јавити су:

- (а) Могуће је сондирати, али тег са крилом речна струја повлачи низводно;
- (б) Није могуће сондирати, али постоји стандардни мерни попречни пресек који се може искористити;
- (в) Није могуће сондирати, а нема стандардног мерног попречног пресека;
- (г) Није уопште могуће спустити тег са крилом у водоток.

Модификоване процедуре мерења које треба поштовати под оваквим теренским условима, описане су даље у тексту. Процедуре (б), (в), (г) примењују се тамо где је стабилан мерни попречни пресек. Избор процедуре мерења у условима нестабилних контура мора се вршити понаособ према специфичностима сваке локације.

(а) Могуће је сондирати, али тег са крилом речна струја повлачи низводно

Код неких је водотока могуће мерити дубине тока и сондирати дно корита, али због велике брзине течења и јаке вучне силе речне струје, крило са тегом је повучено низводно од вертикале мерног пресека. Ово се може односити на свега пар вертикала у близини матице, али може да има утицаја и на већину вертикала у мерном пресеку. Тада се морају применити корекције на измерене дубине

Морају се извршити кориговања измерених дубина и позиција оних тачака на вертикали у које се поставља крило, како би се у обзир узело низводно померање услед

дејства силе речне струје. Уобичајени назив за ова кориговања је корекција угла мерне вертикале. Процедура за прорачун корекција углова мерних вертикала описана је у одељку (5.9.3) *Корекције дубине за низводно повлачење сондажног тег*.

(б) Није могуће сондирати, али постоји стандардни мерни пресек који се може искористити

Када није могуће мерити дубине тока и сондирати дно корита, треба узети стандардни мерни попречни пресек из ранијих мерења извршених са моста или жичаре, ако могу бити корисна овде за одређивање дубине. Такав попречни пресек је користан једино ако су сва мерења протока увек рађена из исте сталне почетне тачке за постављање мерних вертикала по ширини попречног пресека. Такође, требало би да постоји спољашњи референтни водомер или нека референтна тачка на обали или мосту, на коју би се могла везати вредност водостаја у мерном пресеку. Ако су задовољени набројани услови, може се користити следећа процедура за обављање мерења протока:

- (1) Одреди се дубине из стандардног попречног пресека, на основу водостаја;
- (2) Измери се брзине у тачкама на 0,2 дубине у свакој вертикали;
- (3) Израчуна се проток по уобичајеном поступку коришћењем измерених брзина на 0,2 дубине као да су то средње брзине у вертикали. Ураде се корекције за хоризонтални угао закошења ако треба. Те дубине се даље користе онако како је описано у кораку 1;
- (4) Одреди се коефицијент којим се подешава брзина у тачки на 0,2 дубине према средњој брзини на бази претходних мерења на том мерном месту која су обављена по методи 2 тачке. Видети претходно поглавље *Метода 0,2 дубине*.
- (5) Примени се коефицијент из корака 4 на израчунат проток из корака 3.

(в) Није могуће сондирати, а нема стандардног мерног попречног пресека;

У случају да није могуће сондирати дно а не постоји стандардни попречни пресек, треба применити следећу процедуру:

- (1) Везати коте нивоа површине воде, одређене пре и након извршеног мерења, за коту референтне тачке на мосту, за кочеве побијене у земљи или за неко дрво уз урез воде. Овде је претпоставка да у мерном попречном пресеку нема спољашњег референтног водомера.
- (2) Оценити дубину а брзину измерити у тачки која се налази на 0,2 оцењене дубине. Крило треба поставити најмање 0,6 m испод површине воде. Записати у књижици стварну дубину на коју је постављено крило испод површине воде. Ако није могуће да се изврши оцена дубине, онда треба крило поставити на 0,6 m испод површине воде и очитати брзину у тој тачки;
- (3) Трбало би урадити неко комплетно мерење, укључујући формирање неколико линија распореда брзине у вертикалама, при нижим водостајима када је могуће сондирати дно;
- (4) Узети то комплетно мерење и разлику у котама нивоа воде за та два мерења да би се одредио попречни пресек.

(г) Није уопште могуће спустити тег са крилом у водоток.

Ако је није могуће спустити тег са крилом у воду због јако великих брзина и/или бујичног материјала, треба поступити овако:

- (1) Из стандардног попречног пресека преузети дубине у мерним вертикалама. Ако се нема стандардни попречни пресек, одредити дубине методом која ја напред објашњена;

(2) Измерити површинске брзине тако што се мери пролазно време плутајућег бујичног материјала или помоћу одговарајућег инструмента;

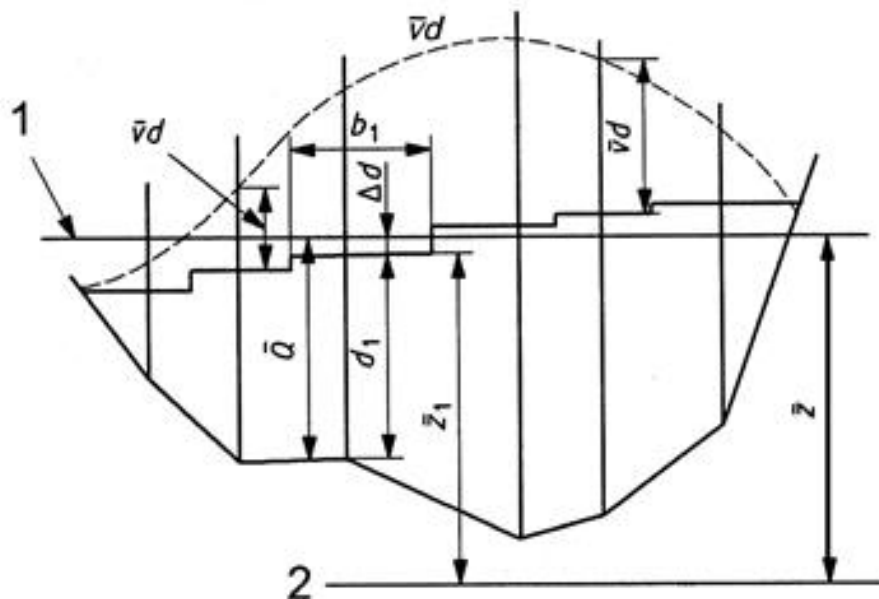
(3) Израчунати проток по уобичајеном поступку коришћењем измерених површинских брзина као да су то средње брзине у вертикали, а те дубине се даље користе онако како је горе описано од корака 1;

(4) На проток израчунат у кораку 3 треба применити одговарајући коефицијент за брзину; узети коефицијент 0,86 за природна корита, а 0,90 за регулисана/вештачка корита.

Добро је приметити да ће одмах након проласка врха бујичног таласа, пронос бујичног материјала или леда обично врло нагло опасти, тако да се тада може користити крило за мерење брзине. Ова мерења брзине могу бити корисна за дефинисање коефицијента брзине који је поменут у кораку 4.

5.10.14. Одређивање протока при променљивом водостају

Ако се водостај променио за мање од 5 % средње дубине или 0,05 m (меродавна је нижа вредност) за време мерења брзина, мора се за прорачун протока усвојити средња вредност водостаја. Ако је промена већа од меродавне вредности, проток и средњи водостај који одговара том протоку рачуна се како је показано у овом поглављу.



На слици је приказано:

1 осредњена вредност водостаја у односу на коту “нуле” станице

2 кота “нуле” станице

Слика 7. Прорачун протока и средњег водостаја при променљивом водостају

Водостај се црта посебно за сваки сегмент, тако да се добија степенаста линија у пресеку, како је приказано на Слици 7. Алтернативно, линија водостаја може се извући као глатка крива. Затим се изнад те линије (површине воде) нацрта крива $\bar{v}_i d_i$ (средњих брзина помножених дубином), а површина коју затварају те две линије представља укупни проток.

Средњи водостај који одговара измереном протоку израчунава се из једначина:

$$\bar{z} = \frac{\sum q_i \cdot z_i}{Q} \quad (5.8)$$

$$q_i = b_i \cdot d_i \cdot \bar{v}_i \quad (5.9)$$

где је:

- \bar{z} осредњена вредност водостаја у односу на коту нуле;
- q_i делимични проток у i -том сегменту;
- z_i средњи водостај који одговара делимичном протоку q_i ;
- Q укупни проток који је једнак збиру делимичних протока $\sum q_i$;
- b_i ширина i -тог сегмента;
- d_i дубина i -тог сегмента;
- \bar{v}_i средња брзина у i -том сегменту.

5.10.15. Мерење протока при врло брзим променама водостаја

Када су при обављању хидрометријског мерења изузетно велике промене водостаја, процедура тежинског осредњавања преко парцијалних протока није увек применљива. Да би се редуковао опсег водостаја који се јавља током хидрометријског мерења, мора се учинити сваки напор да се редукује време неопходно за обављање тог мерења. Мора се притом разумети да скраћења процедуре хидрометријског мерења неизоставно умањују тачност резултата мерења. Зато процедуре мерења протока при врло брзим променама водостаја морају да буду оптимизоване како би се произвела минимална комбинована грешка у измереном протоку и срачунатој вредности меродавног водостаја.

Обављати мерење протока за време брзо променљивог водостаја је много теже него када је водостај готово константан, а тачност резултата обично је мања. Срачунати укупни проток и одговарајући меродавни водостај изложени су већој неизвесности када се водостај значајно мења док траје мерење протока. Предложене су две процедуре за скраћење времена захтеваног за хидрометријско мерење. Прва процедура је применљивија за велике реке где промене водостаја обично нису тако велике као код мањих водотока. Друга процедура више одговара за услове бујичних поплава које се дешавају на мањим водотоцима, где су врхови таласа малтене тренутни, а пораст и опадања водостаја веома брзи.

Мерења на великим рекама, брзе промене водостаја

У периодима брзих промена водостаја на великој реци, мерења протока се морају обављати што је брже могуће да би променљивост водостаја имала минимални утицај. То ће минимизирати грешке које настају због промене образаца течења и других променљивих са мењањем водостаја, чиме ће се обезбедити тачније срачунат средњи водостај, који је меродаван при мерењу протока. Како би се редуковало време захтевано за хидрометријско мерење, неопходно је направити мањи број читавања брзина него обично, а такође треба скратити период мерења у тачки. Ова процедура је позната под називом *скраћена метода мерења брзине*. Даље следи листа поступака који се могу применити да би се скратило потребно време за мерење протока:

(а) боље је применити методу 0,6 дубине него методу 0,2 и 0,8 дубине. Ако се метода 0,6 дубине не може применити због јако великих брзина течења или због превеликог ризика од бујичног материјала, онда треба применити методу 0,2 дубине

или потповршинску методу. Ако је на располагању одговарајући инструмент за мерење површинских брзина, може се применити површинска метода;

(б) редуковати време читавања при мерењу брзине на 30 секунди;

(в) редуковати број сегмената/вертикала на 15-18. У неким условима се може узети мање од 15 сегмената;

(г) Очитавати време на часовнику и записивати га на свакој трећој вертикали. Ако је могуће, осмотрити и забележити водостај једном или двапут у току трајања мерења протока.

Применом горњих поступака, једно мерење се обично може урадити за 15-20 минута. Ако се примењује површинска или потповршинска метода мерења у тачки, онда ће касније бити потребне криве распореда брзине у вертикали за коефицијенте који се користе за прерачунавање локалне брзине у средњу брзину у вертикали. Треба израчунати тежински осредњен водостај као меродаван за мерење протока, што је претходно већ објашњено.

Мерења протока на мањим водотоцима, брзе промене водостаја

На мањим бујичним водотоцима се у периоду великих вода може урадити серија мерења тренутних протока мерењем брзине у појединим сегментима, или вертикалама. Ова метода захтева вишеструко поновљена читавања водостаја, дубине и брзине у одабраним вертикалама за време пораста и опадања поплавног таласа. Овде ће се описати два поступка који се разликују првенствено према начину одређивања дубине у свакој од вертикала. Код првог поступка су претходно одређене коте дна корита у односу на коту “нуле” станице, у свакој вертикали пресека. Дубина је тада одређена као разлика између вредности водостаја и коте дна. Код другог поступка се дубина мери у одабраним вертикалама сондирањем уз истовремено читавање брзине. Првим се поступком мерење протока обавља брже, међутим тај поступак није применљив када је речно дно нестабилно.

Метода прорачуна протока се врло мало разликује код два наведена поступка.

5.10.16. Корекција протока за промену запремине у кориту

Сва хидрометријска мерења се обављају код водомерне станице или врло близу. Али има станица код којих се мерења протока морају обавити на значајној удаљености од водомера и/или контроле. На пример, у периоду великих вода једино место одакле је могуће обавити хидрометријско мерење, може да буде неки мост лоциран далеко од станице. Или код неких станица контролни пресек за мале воде може бити лоциран на значајнијој удаљености низводно од водомера. Ако се мерење протока ради на значајнијој удаљености од станице у периоду променљивих водостаја, онда је проток код станице различит од протока у мерном пресеку. У оваквим ситуацијама се мора применити корекција измерене вредност протока, која ће узети у обзир промену у запремини у кориту, а до које је дошло између мерног пресека и станице у току трајања мерења.

Подешавање вредности измереног протока за запремину између станице и мерног места, као што је горе описано, јесте посебан и различит проблем од оног када се раде корекције због променљивих падова/ нагиба површине воде узрокованих променом протока. Таква подешавања су повезана са анализом петље у зависности водостај-проток. Корекције због промене запремине би требало извршити одмах по завршетку

хидрометријског мерења, па користити подешени резултат мерења за касније анализе криве протока.

5.11. НЕИЗВЕСНОСТ МЕРЕЊА ПРОТОКА

Тачност, односно неизвесност, мерења протока хидрометријским крилом је зависна од многих фактора, укључујући коришћену мерну опрему, локацију и карактеристике мерног пресека, број и распоред вертикала у пресеку, брзину промена у водостајима, методе мерења дубине и брзине, појаве леда и/или бујичног материјала у мерном пресеку, појаве ветра, искуству, вештини и пажњи хидротехничара и другим различитим чиниоцима који се могу јавити током процеса мерења. Вредновање тачности мерења засновано је на квалитативној процени која узима у обзир неке од наведених фактора.

Квантитативни прорачун неизвесности мерења протока заснива се на утврђеним вредностима за неизвесности мерења ширине, дубине, брзине, као и других утицајних чинилаца. У стандарду ISO 1088, из 2007. године, објашњени су прикупљање података и обрада података за потребе одређивања неизвесности хидрометријских мерења. Примена обе методе, и квантитативне и квалитативне, описана је у овом поглављу.

5.11.1. Квалитативна процена

Свако мерење протока треба проценити са гледишта тачности коришћењем квалитативног метода. Историјски гледано, ово је веома корисна метода, а хидротехничар би требало да изврши ову процену одмах након мерења. Процена треба да се заснива на мишљењу хидротехничара о тачности мерења - не на томе колико добро, или како лоше, мерење пада на криву протока. Тешко је дати смернице за квалитативно оцењивање тачности. Добра квалитативна оцена зависи углавном од искуства и обуке хидротехничара. Неколико фактора које треба узети у обзир при оцени су следећи:

Мерни потез - Размотримо факторе као што су униформност дубина, глаткост дна корита, састав материјала на дну (песак, шљунак, велико камење, муљ и тако даље), способност прецизног мерења дубине, услови приступа, присуство мостовских стубова и других услова који би утицали на прецизност мерења.

Услови брзине - Размотрите расподелу брзине, једноличност брзине, врло мале брзине, веома велике брзине, турбуленцију, препреке које могу утицати на расподелу брзине на вертикали и у профилу, употребу методе једне или две тачке, дужину бројања импулса (60 секунди у односу на пола времена) и друге факторе који утичу на тачност мерења брзине.

Опрема - Узмимо у обзир врсту коришћеног хидрометријског крила (мини, стандардно, пречник елисе, акустична или електромагнетна крила), тип опреме за сондирање дубина, и стање опреме.

Распоред мерних вертикала - Користите око 25 до 30 вертикала за мерење протока, распоређене тако да свака не носи више од 5 процената укупног протока у сваком сегменту. Иако је ово често тешко постићи, осим у посебним случајевима, не треба више од 10 процената укупног протока да измерите у једном сегменту. У супротном, тачност ће бити умањена.

Брзина промене водостаја - Како је речено у претходним одељцима овог поглавља, овај услов такође треба разматрати приликом процене тачности мерења. Коришћење

претходно описаних скраћених метода резултираће мање прецизним мерењима протока.

Ветар - ветар може утицати на тачност мерења протока мењањем угла струје или стварањем таласа који отежавају одређивање тачног нивоа воде при сондирању. Ветар такође може да утиче на расподелу брзине у вертикали, нарочито у близини површине, и може изазвати вертикално и (или) хоризонтално кретање крила приликом мерења са брода, уводећи могуће грешке у мерења брзине.

Квалитативни метод за процену тачности мерења протока захтева да хидротехничар размотри све горе наведене елементе и њихов кумулативни ефекат на тачност мерења. На почетној страни записника о мерењу треба да постоји простор за опис (1) попречног пресека, (2) услова течења, (3) временских услова и (4) осталих услова који могу да утичу на прецизност мерења. Ови описи, заједно са врстом опреме, бројем вертикала, методом мерења брзине и другим условима мерења, требало би да пруже основу за оцену мерења као одлично (2%), добро (5%), прихватљиво (8%) или лоше (више од 8% одступања).

На пример, мерење може бити оцењено као одлично (2%) ако је (1) попречни пресек гладак, чврст и једнолик; (2) брзина је правилно и равномерно распоређена; (3) опрема је у добром стању; (4) коришћена је метода две тачке; и (5) временски услови су добри (без ветра или леда). Са друге стране, ако неколико ових фактора отежава прецизно мерење дубине и/или брзине, мерење може бити процењено као прихватљиво (8%), или чак лоше (више од 8%).

Као што је раније речено, није могуће дати апсолутне смернице за квалитативну оцену тачности мерења. Уопштено говорећи, тачност већине мерења протока ће бити око 5%, или квалитативно "добро" мерење. Ово се понекад користи као основа за оцену тачности, а тачност је надограђена на "одлично" када су услови мерења знатно бољи од просека, а тачност је смањена на "прихватљиву" или "лошу" када су услови знатно лошији од просека. Вредновање квалитативне тачности засновано је на процени хидротехничара.

5.11.2. Квантитативна процена

Квантитативно-прецизно вредновање се може извршити за нека мерења протока хидрометријским крилом коришћењем процедуре описане од стране Sauer и Meyer (1992), Herschy (1994) и Међународне организације за стандардизацију (1997). Ове процедуре израчунавају неизвесност, или стандардну грешку, користећи анализу корена средњег квадрата одступања појединих компоненти грешака. Анализа укључује компоненте грешака у мерењу ширине, дубине и брзине, као и у процедури рачунања протока. Ове процедуре се могу користити за израчунавање стандардне грешке за већину мерења протока извршених хидрометријским крилом. Ове процедуре се не примењују на мерења извршена другим врстама хидрометријских крила или другим методама мерења протока. Исто тако, оне се не могу применити на мерења протока под утицајем ветра, леда, мерења на току са препрекама, извршена неадекватном опремом, погрешном процедуром мерења, и када је непажња хидротехничара фактор у тачности мерења.

6. Референце, литература и примедбе**6.1. Референце**

У упутству се референцира на:

шифра документа	назив документа	примедба
QOP-C-002	Хидролошка мерења и анализе површинских вода	

6.2. Литература

шифра документа	назив документа	примедба
	Manual on Stream Gauging, Volume I – Fieldwork, WMO-No. 1044, 2010	WMO Commission for Hydrology, Quality Management Framework – Hydrology (QMF-H)
	SRPS EN ISO 748; Хидрометрија - Мерење протока воде у отвореним токовима коришћењем хидрометријских крила или пловака	Српски стандард, ИСС
	UNESCO-WMO International Glossary of Hydrology, WMO-No. 385, 2012	World Meteorological Organization, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
	SRPS EN ISO 772; Хидрометрија - Речник и симболи	Српски стандард, ИСС
	ISO 2537; Hydrometry - Rotating-element current-meters	Међународни стандард, ISO
	SRPS ISO 3454; Хидрометрија – Опрема за директно мерење дубина и опрема за вешање	Српски стандард, ИСС
	SRPS ISO 3455; Хидрометрија - Калибрација хидрометријских крила са обртним елементом у отвореним праволинијским каналима	Српски стандард, ИСС
	SRPS EN ISO 4375; Хидрометрија - Жичаре за мерења у отвореним токовима	Српски стандард, ИСС
	ISO/TR 9209:1989 Measurement of liquid flow in open channels -- Determination of the wetline correction	Међународни стандард, ISO
	SRPS ISO/TR 9210; Мерење протока воде у отвореним токовима - Мерења на рекама које меандрирају и на водотоцима са нестабилним контурама	Српски стандард, ИСС
	ISO 9825; Hydrometry - Field measurement of discharge in large rivers and rivers in flood	Међународни стандард, ISO

	ISO/TS 15768; Measurement of liquid velocity in open channels - Design, selection and use of electromagnetic current meters	Међународни стандард, ISO
	Discharge Measurements at Gaging Stations, Techniques and Methods 3-A8	U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey доступно на интернету: http://pubs.water.usgs.gov/tm/tm3-a8/

6.3. Примедбе

Ово упутство и његови прилози су поверљиви документи и не смеју бити давани лицима ван Републичког хидрометеоролошког завода без одобрења представника руководства за QMS како у целости тако и било који његов део.

7. Документација

7.1. Важност

7.1.1. Важност упутства

Важеће и неважеће упутство (претходне верзије) чува се трајно без ограничења.

Као меродаван, узима се датум ревизије.

7.1.2. Документација

Документација направљена у току реализације активности које ово упутство описује чува се без ограничења у Одељењу за мрежу хидролошких станица. Треба предузети све мере како не би дошло до губитка или оштећења ове документације.

7.2. Одговорност

Одговорно лице за овај документ је начелник Одељења за мрежу хидролошких станица. Одговорност обухвата право ревидирања и модификовања.

7.3. Дистрибуција

Одговорно лице за издавање нових упутстава, њихово процењивање и модификовање је начелник Одељења за мрежу хидролошких станица. Сви сарадници који имају приступ овом упутству воде се у листи дистрибуције.

8. Прилози

шифра документа	назив документа	примедба
QF-C-013	Записник са хидрометријског мерења	