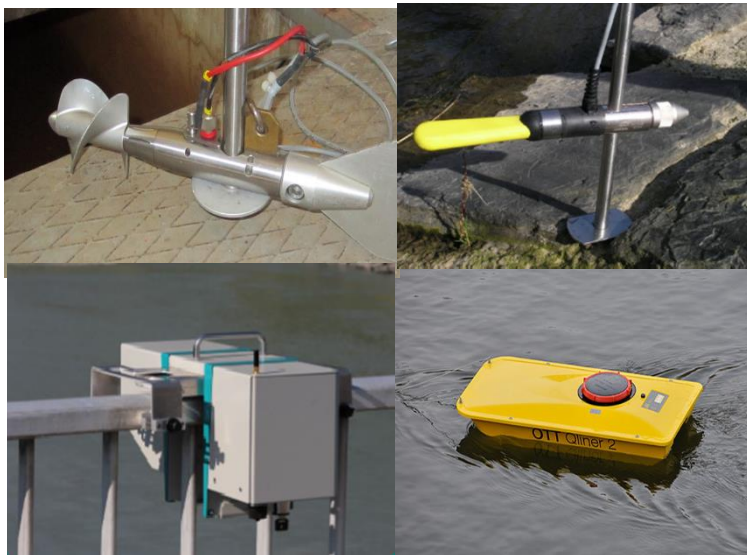


**ИНОВАТИВНИ МЕТОДИ ЗА ХИДРОМЕТРИЧЕН МОНИТОРИНГ**



**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на дисертация

**За присъждане на образователна и научна степен “Доктор”  
в област на висше образование 5. Технически науки,  
професионално направление 5.7. Архитектура, строителство и геодезия (инженерна  
хидрология, хидравлика и водно стопанство)**

**Научен ръководител: проф.дтн.инж. Евелин Монеv**

**София, 2021 г.**

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на разширен научен семинар на департамент "Хидрология" проведен на 28.01.2021 г., съгласно заповед НД-04-01/20.01.2021 г. на директора на НИМХ

**Състав на научното жури:**

Вътрешни членове:

1. проф. дн инж. Оханес Хрант Сантурджиян
2. проф. дн инж. Йордан Георгиев Марински

Външни членове:

3. проф. дн инж. Евелин Симеонов Монеv, УАСГ
4. проф. д-р инж. Петър Колев Калинков, УАСГ
5. проф. дн. Жак Самуил Таджер

Резервни членове:

6. доц. д-р Ирена Георгиева Илчева- Михайлова
7. проф. д-р. Никлоай Павлов Лисев, УАСГ

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 27.05.2021г (четвъртък ) в зала „Акад. Любомир Кръстанов“ на НИМХ, гр. София

Материалите по защитата ще са на разположение на интересуващите се в канцеларията на НИМХ

## СЪДЪРЖАНИЕ

УВОД	4
1. ТРАДИЦИОНЕН НАЧИН ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО ПО МЕТОДА "СКОРОСТ – ПЛОЩ".	5
1.1. ТЕОРЕТИЧЕН МОДЕЛ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО.	6
1.2. МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО.	6
1.2.1. Метод на повърхностните хидрометрични плуваци.	6
1.2.2. Метод на хидрометричното витло.	7
1.2.3. Хидравличен метод.	8
1.3. АНАЛИЗ НА ТРАДИЦИОННИТЕ МЕТОДИ ПО МЕТОДА "СКОРОСТ – ПЛОЩ".	9
1.3.1. Анализ на геометричните измервания при традиционния метод.	9
1.3.2. Анализ за измерването на скоростите при традиционния метод.	10
1.3.3. Недостатъци на традиционния метод за измерване на водното количество.	10
3. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	11
4. ИНОВАТИВНИ СРЕДСТВА И МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО.	12
4.1. ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО С МАГНИТНО-ИНДУКЦИОНЕН СКОРОСТОМЕР NAUTILUS С 2000.	12
4.1.1. Същност на уреда и методиката за приложение.	12
4.1.2. Налични сведения за точността на метода.	13
4.1.3. Експериментална проверка за точността на метода.	13
Лабораторни изпитания.	13
Теренна проверка.	14
4.1.4. Заключение и препоръки за употреба на метода в оперативната дейност на НИМХ.	15
4.2. ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО С ЛАЗЕРЕН СКОРОСТОМЕР НА ПОВЪРХНОСТНА СКОРОСТ RP-30.	16
4.2.1. Същност на уреда и методика за приложение.	16
4.2.2. Налични сведения за точността на метода.	17
4.2.3. Експериментална проверка на точността на метода.	17
Лабораторни изпитания.	18
Теренна проверка.	19
4.2.4. Заключение и препоръчителна употреба на метода в оперативната дейност на НИМХ.	22
4.3. ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО С ДОПЛЕРОВ ПРОФИЛОЛОМЕР M-Pro.	22
4.3.1. Същност на метода.	22
4.3.2. Налични сведения за точността на метода.	23
4.3.3. Експериментална проверка на точността на метода.	24
Лабораторни изпитания	24
Теренна проверка.	26
4.3.4. Заключение и препоръчителна употреба на метода в оперативната дейност на НИМХ.	28

#### 4.4. ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО С ХИДРОМЕТРИЧНА СИСТЕМА – "ОТТ Qliner 2".

29

4.4.1.	Същност на метода.	29
4.4.2.	Налични сведения за точността на метода.	30
4.4.3.	Експериментална проверка на точността на метода.	30
	Лабораторни изпитания	30
	Теренна проверка.	31
	Заключение и препоръчителна употреба на метода в оперативната дейност на НИМХ.	33
5.	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	34
6.	ЛИТЕРАТУРА.	35
7.	ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.	36
8.	ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.	36
9.	БЛАГОДАРНОСТИ	36

#### Увод

Дисертационният труд е тясно свързан с мисията на Националния институт по метеорология и хидрология, на който е възложено извършването на оперативна дейност по измерване и наблюдение на повърхностния отток в Р. България. Тази дейност обхваща, предимно естествените водни течения (реки), като в някои отделни случаи се разпростира и върху важни за регионалния воден баланс хидротехнически канали от водостопанска инфраструктура на страната. От това следва, че провежданите хидрометрични изследвания в тази сфера се извършват върху обекти, които от хидравлична гледна точка попадат към категорията на безнапорните течения.

Съвременното развитие на измервателната техника дава решения за автоматизиране и решително повишаване на оперативността на измервателните методи. Редица теоретично установени възможности за измерване на хидравлични величини бяха ограничени от несъвършенството на старите измервателни технологии. Приложните постижения на микроелектрониката и компютъризацията разкриха пряк път за тяхното реализиране и внедряване в дейността по наблюдение на водите.

# 1. ТРАДИЦИОНЕН НАЧИН ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО ПО МЕТОДА "СКОРОСТ – ПЛОЩ".

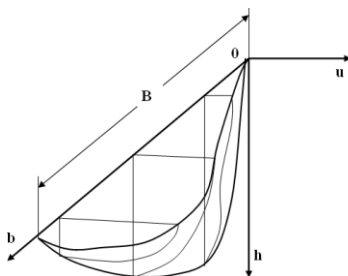
## 1.1. ТЕОРЕТИЧЕН МОДЕЛ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО.

Приема се, че водното течение се състои от безкрайно много елементарни струйки разположени една до друга без празни пространства между тях. В най-общия случай, скоростите за движение  $u$  на водните частици във всяка отделна струйка е различна. Тогава понятието "водно количество за цялото течение ще се дефинира чрез сумата от елементарните водни количества на всички струйки:

$$Q = \int_0^F u \cdot dF \quad (2)$$

където  $F$  е цялото напречно сечение на водното течение.

Въз основа на тази постановка, в хидрометрията е приета графична представа за кинематичната структура на течението наречена "модел на водното количество" [2,3,4,5]. Това е мисленото тяло, което се образува от векторите на скоростта  $u$  в леглото на течението при една тримерна координатна система "широчина  $b$  – дълбочина  $h$  – скорост  $u$ " (фиг. 1). Обемът на това тяло има дименсия "обем за единица време" и представлява размерът на водното количество.



Фиг. 1 Модел на водното количество

Една от основните теоретични задачи на хидрометрията във връзка с това е адекватното диференчно описание на модела на водното количество и обосновка на приложни методи за практическо измерване на неговия обем.

Ако мислено моделът се разреже на сегменти с успоредни на течението равнини, прекарани през единица разстояние една от друга, площта на напречното сечение на всеки сегмент може да се представи

$$dF = 1 \cdot dh \quad (3)$$

а протичащото през него водно количество съгласно уравнение (1) ще бъде

$$dQ = q_j = \int_0^{h_j} u \cdot dh \quad (4)$$

където  $h_j$  е дълбочината на напречния профил в сечението  $j$ , прието за меродавно в разглеждания сегмент.

Интегралът  $q_j$  дефинира понятието "площен отток" и има дименсия  $m^2/s$ . Това понятие има важно значение при повечето от съществуващите методи за измерване на водното количество.

## 1.2. МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО.

Необходимо е да се отбележи, че почти всички известни до сега методи за измерване на водното количество при безнапорните течения се основават върху теоретичния модел на водното количество. В хидрометрията този подход е известен като принцип "скорост – площ". Характерното за този принцип е разделянето на напречното сечение на течението на сектори с вертикални граници и измерване на средната скорост на течението във всеки сектор. След това се изчисляват т.н. "секторни водни количества":

$$q_i = b_i h_i v_i \quad (5)$$

където  $b_i$  е широчината на сектора;  
 $h_i$  - средната дълбочина на сектора;  
 $v_i$  - средната скорост на течението в сектора.

А, общото водно количество на цялото течение се получава чрез сумиране на секторните оттоци:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} q_i = \sum_{i=1}^{i=n} b_i h_i v_i \quad (6)$$

където  $n$  е избраният брой на секторите.

### 1.2.1. Метод на повърхностните хидрометрични плуваци.

Това е най-простият начин за измерване на водното количество. Поради това е и най-неточен, като се прилага само в случаите, когато е невъзможно провеждане на измерването по друг начин. Плувачи се наричат специално конструирани или инцидентно подобрани плувачи дребни предмети, които са добре забележими при движенията си във водното течение.

Известни са две разновидности за приложение на този метод: ивичен метод и метод чрез максималната повърхностна скорост [2,3,4,5]. От тях значение за дисертационния труд има само първият метод. Вторият метод съществува като възможност, но е приложим при редки и много специални случаи. В останалите случаи е почти неизползваем, поради грубите приближения на резултатите към действителната стойност на измервания дебит.

При ивичният метод повърхностната скорост на течението в определена ивица от дължината му се определя по следната формула:

$$u_{j,i} = \frac{L}{t_{j,i}} \quad (7)$$

където  $L$  е разстоянието изминато от плувака в ивицата;  
 $t_{j,i}$  времето в секунди за преминаване на разстоянието  $L$  от плувака.

След това за всяка ивица си изчислява т.н. "фиктивен площен отток":

$$q_{j,\phi} = h_j u_{j,ср} \quad (8)$$

Това, по принцип е същата величина описана чрез уравнение (4), но се нарича "фиктивен" защото е изчислена само въз основа на повърхностната скорост на течението.

Тъй като, фиктивният отток е определен само чрез повърхностните скорости на водното течение, действителният отток в реката се изчислява по формулата:

$$Q = K \cdot Q_{\phi} \quad (10)$$

където  $K$  е преводен коефициент, който отчита отношението между средната скорост в напречното сечение и средната повърхностна скорост на течението.

Препоръчително е стойността на коефициента  $K$  да се определя чрез данните от проведени изследвания в същия участък чрез хидрометрично витло или се взема от съществуващи в литературата таблици в зависимост от характера на речното корито.

Точността на метода с повърхностни плуваци не е висока. При удачно подбрана стойност на преводния коефициент тя не надвишава  $\pm 5\%$  [6]. При използване, обаче само на посочените в литературата стойности, измервателната грешка може да нарастване до към  $\pm 12\%$  и повече [2]. Това е причината за прибягване към този метод, само в случаите когато по-съвършените методи за измерване на водното количество са неприложими.

### 1.2.2. Метод на хидрометричното витло.

Хидрометричното витло е измервателно средство за скоростта на водата, което едва ли ще бъде заменено в обозримо бъдеще. Неговият традиционен механичен вариант с перка и роторна част е един прецизен измервателен уред (Фиг.3).



Фиг. 3. Съвременен вид на механично хидрометрично витло

Съществуват множество различни конструктивни решения на хидрометричното витло, но принципът на неговото действие при всички е един и същ [4]. Поради това тяхното описание тук ще бъде избегнато.

След въвеждане на уреда в изследваната точка от напречното сечение на водното течение, скоростният напор привежда във въртене перката и цялата роторна част. Зависимостта между ъгловата скорост  $\omega$  на перката и скоростта на водата  $u$  е линейна и може да се представи:

$$u = k\omega + a \quad (11)$$

където  $k$  и  $a$  са константи.

Съвременните хидрометрични витла са снабдени с електронни контролери, които трансформират ъгловата скорост на перката по уравнение (11) в скорост на водата и я демонстрират на екрана си.

По-старите конструкции притежават специална контакторна група към роторната си част, която чрез кумутиране на електрическа верига, изработва звуков или светлинен сигнал на определен брой обороти на ротора. Тези сигнали се броят от оператора, като същевременно се измерва и времето  $T$  за тяхното получаване. Тогава ъгловата честота на ротора се определя:

$$\omega = \frac{N \cdot m}{T} \quad (12)$$

където  $N$  е броя на сигналите подаден от витлото за време  $T$ ;  
 $m$  - броя на оборотите на винта за един сигнал.

След това, по уравнение (11) се изчислява съответстващата на тази честота скорост на водата.

Независимо от тази екстензивна технология, измервателната грешка на хидрометричните витла се преценява на около  $\pm 1.5\%$  от измерваната стойност на скоростта [2].

Изчисляването на водното количество се извършва чрез получените от измерванията стойности на местните скорости в т.н. скоростни вертикали. Това става по различни методики, които са добре описани в специалната литература [2, 3, 4, 5, 8].

### 1.2.3. Хидравличен метод.

Този метод съществува като възможност за приложение, когато условията на течението не позволяват използването на никой друг от останалите методи. Неговата същност не може да бъде окачествена напълно като измервателен метод, защото фактическо измерване се извършва само на някои геометрични параметри за речното легло. Хидравличният метод се прилага, обикновено след преминаване на висока вълна през речното корито, когато по анкетен път е установен само белег до който е достигало максималното водно ниво в реката. Този белег се използва за извършване на геодезична нивелация, чрез която се построява напречният профил на реката до установената кота. Допълнително се извършва нивелация и за определяне на надлъжния наклон  $I$  на дъното на реката. С получените резултати се изчислява площта на напречното сечение  $F$  на профила, неговия хидравличен радиус  $R$  и намокрен периметър  $\chi$ . Тези данни служат за изчисляване на средната скорост на течението по уравнението на Шези за равномерно течение в призматични легла:

$$v = C\sqrt{RI} \quad (21)$$

където	$C$ е	скоростния множител на Шези;
	$R$ -	хидравличният радиус
	$I$ -	надлъжен наклон на речното корито.

Водното количество се изчислява по формулата:

$$Q = v.F \quad (24)$$

Очевидно, този метод не може да претендира за особена точност, защото не се извършва измерване на действителните скорости в реката, а те се определят по теоретична формула, изведена за условията на равномерно течение. Известно е, че при преминаване на високи води в реките, в най-общия случай течението е неравномерно и нестационарно, като фазата на равномерност се появява през много кратък период от екстремния режим.



### **1.3. АНАЛИЗ НА ТРАДИЦИОННИТЕ МЕТОДИ ПО МЕТОДА "СКОРОСТ – ПЛОЩ".**

#### **1.3.1. Анализ на геометричните измервания при традиционния метод.**

Напречното сечение в измервателния профил на течението е параметър с изключително голямо значение за определяне на точния размер на протичащото водно количество. Процентът на допуснатата грешка при неговото измерване се отразява в същия размер и на резултата за водното количество.

За измерване на напречния профил на течението се формира една елементарна геометрична задача, която не представлява никакъв теоретичен проблем. За тази цел в традиционната хидрометрия се използват добре обосновани практически методи. Те се основават върху опростени геодезични измервания на широчината и дълбочините на водата в напречното сечение.

След извършване на измерванията, напречният профил на течението се апроксимира с една полигонална фигура, ограничена отгоре с хоризонталната права на водната повърхност. Площта на тази фигура лесно се определя чрез елементарни геометрични изчисления. Точността на резултата, освен от допуснатите измервателни грешки, зависи още и от степента на дискретизация по широчината на течението. При увеличаване на броя на скоростните вертикали, резултатът се приближава по-близо до реалния размер на напречното сечение.

#### **1.3.2. Анализ за измерването на скоростите при традиционния метод.**

Традиционният начин за измерване с хидрометрично витло се прилага чрез последователното му позициониране в системата от точки по скоростните вертикали. Екстензивният начин за използване на механичното хидрометрично витло предвижда два последователни етапа на измерването – етап на теренните измервания, когато в специален карнет се записват отчетените времена между сигналите подавани от витлото във всяка измервателна точка и етап на камерална обработка на резултатите, когато чрез записите от карнета се изчислява ъгловата скорост на хидрометричния винт и съответстващата му скорост на водата във всяка точка, отчетена по калибрационната зависимост на витлото. След това се пристъпва към изчисляването и на търсеното водно количество. Както се вижда, крайният резултат от измерването не може да се постигне бързо и на място, като цялата процедура отнема значително време.

Чрез проведени специализирани изследвания по този въпрос е установено, че теоретичната неопределеност на традиционния начин за измерване на водното количество с хидрометрично витло възлиза на около  $\pm 4\%$  [6]. По приблизителна обобщена оценка в литературата по инженерна хидрология се посочва една стойност от около  $\pm 5\%$  [2,3,7]. Може да се приеме, че точността на такова измерване в хидрологията е практически напълно задоволителна. Но, горните оценки са направени при предпоставката, че са на лице всички изискуеми условия по методиката за извършване на измерванията. Най-важното от тях е строгото изискване за стационарност на течението, т.е. протичащото водно количество трябва да има константна стойност от началото до края на извършваното измерване. Другото изискване е наличието на плавна изменаемост между местните скорости в напречното сечение, което осигурява несмутено, равномерно въртене на работния орган на хидрометричното витло.

При практическите измервания на водното количество има редица случаи, когато тез две условия не могат да бъдат осигурени в достатъчна степен, от където произлизат по-големи измервателни грешки.

#### **1.3.3. Недостатъци на традиционния метод за измерване на водното количество.**

Разгледаните традиционни методи за измерване на водното количество имат редица недостатъци, които по обективни причини не можеха да бъдат избегнати с

досегашните хидрометрични средства. Най-съществените от тях могат да се сведат към следното:

1. Метрологията поставя едно безусловно изискване за непроменливост на измерваната величина по време на измервателния процес. Значителната продължителност на измерванията по традиционните методи ги поставя в противоречие с това изискване. Както е известно речните течения се причисляват към нестационарните движения, особено през фазата на максималния отток, когато периодите със значими нестационарните изменения са съизмерими или по-кратки от времетраенето на измерването.

2. Фазата на максималния отток е много важен процес от режима на реките, който представлява голям интерес, както за целите на хидротехническото строителство, така и за предприемане на адекватни мерки за защита при наводнения. В много случаи, обаче се оказва, че измерване на водното количество през такива периоди не се провежда, поради невъзможност за въвеждане в течението на никаква измервателна апаратура.

3. С измерване на скоростите в ограничен брой точки по вертикалите, в редица случаи не може да се постигне достатъчно добро описание на скоростния профил на течението.

4. Ограниченият брой на скоростните вертикали не допринася за точното описание на теоретичния модел на водното количество, особено при сложните профили с неправилна форма, мъртви зони и други твърди препятствия.

5. Липсата на възможност за получаване на резултата за водното количество още на самото място на измерване лишава операторите от контрол върху процедурата и своевременно поправяне на неволно допуснати грешки.

6. Липсата на оперативност на методите, които изискват разделено провеждане на измервателните процедури (за геометричните размери и за скоростите в профила), както и за изчисляване на водното количество, повишава трудоемкостта и продължителността на измерването. Това, на практика, не винаги е допустимо по различни технически, организационни и икономически съображения.

7. Към недостатъците на традиционните начини може да се причисли и още едно обстоятелство, което специално за нашата страна, придобило важно негативно значение. Хидрометричните витла са прецизни механизми, които се нуждаят от съответна техническа поддръжка и сервизно обслужване. Постепенното износване на въртящите им се конструктивни елементи причинява промяна в калибрационната им зависимост, което налага периодичната проверка или нова калибрация. Това е много специфична дейност, която се извършва в специализирани за целта лаборатории с доста тежко оборудване. До преди около 25 – 30 години в нашата страна функционираха три такива лаборатории в състава на специализираните звена за научно обслужване на водното стопанство. След политическия и социално-икономически обрат в нашата страна през 1990 година, наложената конюнктурна икономическа стагнация в науката и образованието стана причина за постепенното им отпадане поради липса на средства. Достигна се до абсурдното положение, че в момента нито една от тях не функционира, а перспективите за тяхното възобновяване или изграждане на нови лаборатории не са окуражаващи. Това лиши наличния парк от хидрометрични витла в нашата страна от тази важна метрологична поддръжка. По този начин, на разположение за практическо използване остават само новозакупените хидрометрични витла, чийто планов срок за метрологична проверка още не е изтекъл.

Съвременното развитие на измервателното приборостроене дава възможност за отстраняване или смекчаване на част от горните недостатъци.

### **3. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

Развитието на хидрометричното уредостроене е довело до значителен прогрес в средствата за измерване на кинематичните величини при безнапорните водни течения. Редица фирми-производители на хидрометрична апаратура от Западна Европа, САЩ, Китай и Япония предлагат образци на такава техника, които представляват новост за нашата страна и са обект на проучване като основни средства за превъоръжаване на оперативната дейност на НИМХ по наблюдение на водите. Вече са закупени и доставени единични бройки от подобна иновативна апаратура, като се извършва нейното практическо усвояване.

**Във връзка с това се поставя и целта на настоящия дисертационен труд:**

**Комплексна оценка на начините за измерване на водното количество с иновативна апаратура в състав:**

- **Магнитно-индукционен скоростомер Nautilus C 2000.**
- **Лазерен скоростомер за повърхностна скорост RP-30.**
- **Доплеров профиломер M-Pro.**
- **Хидрометрична система OTT Oliner 2.**

**Оценката ще бъде насочена към пригодността на апаратурата за работа в условията на националната ни хидрометрична мрежа.**

**За постигане на комплексната оценка относно начините на измерване с посочената апаратура в дисертационния труд се поставят следните задачи:**

- 1. Описание на същността на метода и принципното устройство на измервателното средство.**
- 2. Начин на работа при измерване на водното количество.**
- 3. Информация за метрологичните качества.**
- 4. Експериментални изпитания.**
- 5. Заключение и препоръчителна употреба в оперативната работа на НИМХ.**

#### 4. ИНОВАТИВНИ СРЕДСТВА И МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО.

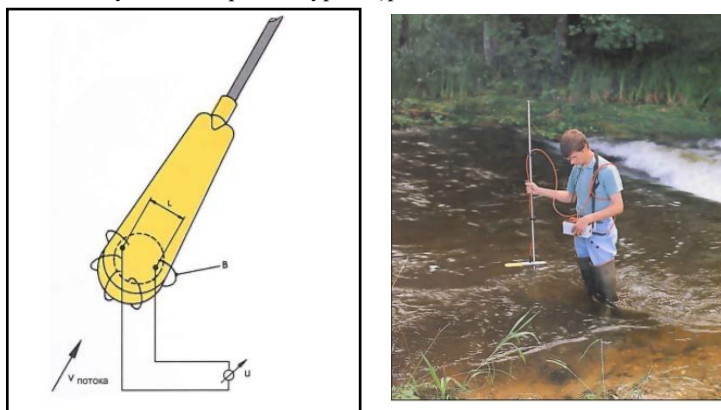
##### 4.1. ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО С МАГНИТНО-ИНДУКЦИОНЕН СКОРОСТОМЕР NAUTILUS C 2000.

###### 4.1.1. Същност на уреда и методиката за приложение.

Скоростомерът *Nautilus C 2000* представлява електронен вариант на известното в досегашната практика хидрометрично витло. Най-важната особеност на този уред е, че той не притежава подвижни функционални части, като измерването на скоростта на водата става по магнитно-индукционния метод. Този метод се базира върху втория закон на Фарадей за електромагнитната индукция: когато проводник с дължина  $L$  се движи със скорост  $v$  напречно на силовите линии на магнитно поле с магнитна индукция  $B$ , в него се индуцира електродвижеща сила, която в краищата му има стойност  $U$ :

$$U = BLv \quad (25)$$

Ролята на подвижен проводник тук играе редицата от водни молекули на течението, разположени между два електрода на уреда (фиг. 9)



Фиг. 9 Принцилна схема за измерване на скоростта на водата по магнитно-индукционния метод.

По този начин, изходното напрежение генерирано върху електродите е право пропорционално на скоростта на водата. След усилване и съответна електронна обработка в апарата, то се превръща в стойност на физическата величина "скорост".

Скоростомерът външно силно наподобява формата на хидрометричното витло, а окачането му на щанга или стоманено въже става по идентичен начин (Фиг. 10).



Фиг. 10. Магнитно-индукционен скоростомер *Nautilus C 2000*.

Генерираните от скоростомера електрически сигнали се подават по кабел към регистриращ уред *SENSA Z300*, който представлява електронен контролер от висок клас с възможности за запамятаване и трансфер на резултатите

Методиката за измерване на водното количество със скоростомера *Nautilus C 2000* е същата, както при използване на механичното хидрометрично витло, но с тази разлика, че тук скоростите се отчитат направо по дисплея на уреда в м/с. Измерванията, също се извършват в предварително трасирани скоростни вертикали в напречното сечение на течението, като се спазват всички изисквания, както при работа с механично хидрометрично витло: брой и разпределение на скоростните вертикали по широчината на течението, брой на измервателни точки по вертикалите, времетраене на всяко измерване за неутрализиране на случайните пулсации на скоростта и пр.

#### **4.1.2. Налични сведения за точността на метода.**

В съпровождащата документация на производителя на изделието се посочва точност на измерване от  $\pm 1\%$  по отношение на размера на измерваната скорост. За сравнение може да се посочи точността на измерването с механично хидрометрично витло, която е регламентирана при най-добрите му образци като  $\pm 1.5\%$  и то в лабораторни условия.

#### **4.1.3 Експериментална проверка за точността на метода.**

##### **Лабораторни изпитания.**

Извършена бе експериментална проверка за постиганата точност при измерване на водното количество със скоростомера *Nautilus C 2000*. Проверката бе организирана в моделен канал на Лабораторията по хидравлика на НИМХ, където водното количество се контролира от еталонен водомер с неопределеност  $0.3\%$  Фиг.12.



*Фиг. 12 Подготовка за контролните измервания със скоростомера Nautilus C 2000 в моделния канал на Лабораторията по хидравлика на НИМХ.*

С регулиращите органи на лабораторния стенд бе установен константен дебит по канала, който преминаваше през измервателния профил. Еталонният водомер показваше константно водно количество  $Q_e = 0.126 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Получените експериментални резултати бяха обработени по дигитализиран вариант на метода на Харлахер при коефициент на бреговете  $K = 0.9$  за вертикални гладки брегове (Таблица 4).

Таблица 4. Изчисляване на водното количество с данните от контролното измерване на водното количество със скоростомера Nautilus C 2000 в лабораторията на НИМХ.

Измерване със скоростомер "Nautilus C 2000"									
Верг. №	Разстояние от уреза	Дълбочина	Измерв. точка		Скорост u	Скорост във вертикалата	Междина площ	Скорост	Водно количество
			-	м.					
-	м.	м.	-	м.	м/с	м/с	м <sup>2</sup>	м/с	м <sup>3</sup> /с
Урез 1	0	0.44	-	-	-	0.405			
1	0.100	0.44	0.2	0.09	0.580	0.450	0.044	0.428	0.019
			0.6	0.26	0.387				
			0.8	0.35	0.447				
			1.0	0.44	0.000				
2	0.295	0.44	0.2	0.09	0.576	0.543	0.0858	0.497	0.043
			0.6	0.26	0.525				
			0.8	0.35	0.545				
			1.0	0.44	0.000				
3	0.490	0.44	0.2	0.09	0.477	0.452	0.0858	0.497	0.043
			0.6	0.26	0.467				
			0.8	0.35	0.397				
			1.0	0.44	0.000				
Урез 2	0.590	0.44	-	-	-	0.407			
						Сума:	0.2596	-	0.123

Изчисленото водно количество възлиза на  $Q = 0.123 \text{ м}^3/\text{с}$ . Процентната грешка на това измерване в сравнение с еталонното водно количество е:

$$\delta_Q = \frac{Q - Q_e}{Q_e} 100 = \frac{0.123 - 0.126}{0.126} 100 = -2.4 \% \quad (26)$$

#### Теренна проверка.

Качествата на *Nautilus C 2000* бяха проверени и в реална обстановка при едно хидравлично изследване в изходния канал на Софийската пречиствателна станция за отпадни води в с. Кубратово (Фиг. 16)

Измерването се проведе, както обикновено от двама оператори, като получените резултати са представени в таблица 5.



Фиг. 16. Момент от измерването на водно количество със скоростомер *Nautilus C 2000* в изходящия канал на СПСОВ "Кубратово".

Таблица 5. Измерване на водното количество с *Nautilus C 2000* в изходящия анална СПСОВ "Кубратово"

Вертикала	Хор.разст. В	Дълбочина	Средна скорост	Скоростна площ	Ср.скор. площ	ΔВ	Площен отток
-	м.	м.	м/с	м <sup>2</sup> /с	м <sup>2</sup> /с	м.	м <sup>3</sup> /с
Ляв урез	0	0.81	0.657	0.532	-	-	-
1	0.25	0.93	0.730	0.679	0.606	0.25	0.151
2	1	0.94	0.983	0.924	0.801	0.75	0.601
3	2	0.94	0.896	0.842	0.883	1.00	0.883
4	3	0.95	0.998	0.948	0.895	1.00	0.895
5	4	0.97	0.978	0.949	0.948	1.00	0.948
6	5	0.97	0.864	0.838	0.893	1.00	0.893
7	5.75	0.97	0.507	0.492	0.665	0.75	0.499
Десен урез	6	0.85	0.4563	0.388	0.440	0.25	0.110
	<b>Средна:</b>	0.95			<b>Сума:</b>	<b>6.00</b>	<b>4.981</b>

Протичащото водно количество в канала през периода на измерването му бе определено на 4.981 м<sup>3</sup>/с.

Извършената проверка на измервателното средство в реална обстановка показва високата му оперативност и лесно обслужване. Това значително съкращава времетраенето на теренните работи – при извършената проверка те отнеха само 10 минути, докато за алтернативното измерване с механично хидрометрично витло при същите условия бяха необходими 35 минути.

#### **4.1.4. Заключение и препоръки за употреба на метода в оперативната дейност на НИМХ.**

Проведените изследвания показват, че скоростомерът *Nautilus C 2000* притежава качества, които надвишават положителните страни на най-добрите образци от известните хидрометрични витла. Експерименталната проверка за точността на измерването водно количество с тях потвърждава очакването, че тя ще бъде в порядъка на около  $\pm 3\%$ . Лабораторният резултат от това изпитание възлиза на  $-2.4\%$ , което е трудно постижимо за механичните хидрометрични витла.

В сравнение с механичното хидрометрично витло, процедурата по измерване на водното количество със скоростомера *Nautilus C 2000* се опростява с това, че се избягва допълнителното изчисляване на ъгловата скорост на хидрометричното витло и отчитането на скоростта на водата по актуалната калибрационна зависимост. Това намалява обема на камералната обработка на първичните данни, защото търсените скорости в измервателните точки се отчитат направо от дисплея на уреда в м/с. Освен това, дигиталното представяне на данните в електронната апаратура дава възможност за включването ѝ като периферия на преносим компютър (лаптоп) и автоматично извършване на всички останали изчисления до получаване на крайният резултат още на мястото на измерването. Това е важно предимство на метода, защото контролирането на

резултата още на място на измерването позволява повтаряне на измерванията при установяване на грешки при тяхното провеждане.

Друго важно преимущество на апарата е липсата на подвижни части, което не създава условия за износване на чувствителния елемент и налагащите се периодични калибрации, което е типично за механичните хидрометрични витла.

Като допълнителни преимущества могат да се посочат още следните:

- почти никаква техническа поддръжка, освен смяна на батериите;
- висока механична устойчивост срещу удари от плувачи предмети;
- възможност за измерване на много малки скорости;
- възможност за приложение при течения с много малка дълбочина – от порядъка на 3 см., както и за големи дълбочини до 3 м.;
- възможност за приложение при силно замърсени води и води с обрастване от водна растителност.

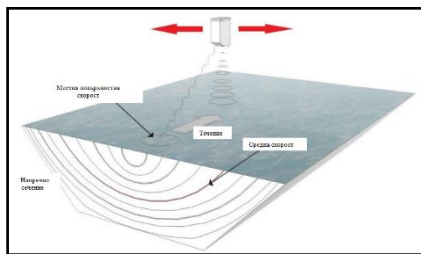
В порядъка на недостатък може да се посочи ограничената максимална скорост на измерването, която при нормално изпълнение е посочена до 1.5 м/с, а при специална поръчка до 2.5 м/с.

Посочените качества на скоростомера *Nautilus C 2000* го характеризират като много полезен уред за оперативната работа на НИМХ. Той не е универсално приложим, но притежава уникалното качество, че запълва празнината при случайте, когато механичното хидрометрично витло се оказва неизползваемо – при силно замърсени или обраснали течения или течения с много малки скорости и незначителни дълбочини. В останалите случаи неговото използване значителна повишава оперативността на измервателните работи.

## 4.2. ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО С ЛАЗЕРЕН СКОРОСТОМЕР НА ПОВЪРХНОСТНА СКОРОСТ RP-30.

### 4.2.1. Същност на уреда и методика за приложение.

Уредът е предназначен за безконтактно измерване на скоростта на течението в ограничено петно от нейната повърхност (Фиг. 17). Принципът на измерването се базира върху ефекта на Доплер. Уредът се разполага на определена височина над водното течение, от където той изпраща К-радарни сигнали (радиовълни с честота 24 GHz) под наклон от  $12^{\circ}$  спрямо водната повърхност. Там сигналът се отразява от движещата се водна повърхност с променена честота съгласно ефекта на Доплер. Чрез вградената си антена уреда улавя отразения сигнал и сравнява честотата му с тази на излъчения сигнал. Въз основа на установената честотна разлика се определя скоростта на водната повърхност.



Фиг. 17. Принципна схема за измерването с радарния скоростомер RP-30.



Лазерният скоростомер RP-30 функционира в единство с преносим компютър (лаптоп), към който се свързва чрез стандартен USB-порт. При доставката уреда се получава и необходимия софтуер за изпълнение на широк кръг от задачи. Една от тях е измерването на водното количество. По принцип, тази задача може да бъде изпълнена ако по друг начин вече е определен напречният профил на течението и са набелязани скоростните вертикали за измерване на скоростите. Данните за напречния профил и скоростните вертикали се въвеждат чрез клавиатурата на лаптопа преди или след измерването на скоростите. Схемата за изчисляване на секторните оттоци и общото водно количество на течението не се отличава значително от тази при измерване на водното количество с повърхностни плуващи по ивичния метод (т.2.2.1).

Изчисленията протичат в автоматичен режим до получаване на крайния резултат – търсеното водно количество. Алгоритъма на тези изчисления е следния:

Първо, измерената повърхностна скорост  $u_j$  се привежда към средната скорост  $v_{j,cp}$  във вертикалата. Това става чрез умножаването ѝ по съответен преводен коефициент  $K$ :

$$v_{j,cp} = K u_j \quad (27)$$

Преводният коефициент  $K$  е безразмерна величина, чиято стойност се движи в границите от 0.70 до 0.90. Ако неговата точна стойност не е въведена предварително въз основа на други изследвания, апарата я определя чрез моделиране. За целта се използва логаритмичният закон за разпределение на скоростите във вертикалата и формулата на Дарси-Вайсбах за загубите на напор при триене. Необходимите данни за грапавината на стените и параметрите на профила се въвеждат предварително.

С получените средни скорости по вертикалите се изчисляват секторните оттоци:

$$q_j = v_{j,cp} b_j h_j = K u_j b_j h_j \quad (28)$$

където  $b_j$  е широчината на сектора;  
 $h_j$  - дълбочината на скоростната вертикала.

Търсеното общо водно количество се получава чрез сумиране на всички секторни оттоци:

$$Q = \sum_{j=1}^z q_j \quad (29)$$

#### 4.2.2. Налични сведения за точността на метода.

Измерването на повърхностните скорости на течението със скоростомера RP-30 се отличава с достатъчно висока точност. Посочените в таблица 5 стойности означават, че при практически най-често срещаните скорости в диапазона от 0.5 м/с до към 3 - 4 м/с, измервателните грешки ще бъдат от порядъка на 0.01 м/с до към 0.05 м/с. Това, обаче се отнася до повърхностните скорости на течението. При преминаването към средните скорости във вертикалите се получават допълнителни грешки, защото теоретичното моделиране на разпределението на скоростите в дълбочина не винаги съответства на практическата обстановка. Нови грешки се добавят и при разделянето на напречния профил на идеализирани сектори, както и при геометричното измерване на неговите размери. В документацията на уреда няма сведения за тези грешки и тяхната оценка следва да се извърши по косвен път.

Като първо приближение при тази оценка може да се излезе от съображението, че измерването на водното количество чрез скоростомера RP-30 доста добре се доближава до методиката на хидрометричните плуващи. Както е известно, при тях сравнително голямата грешка се дължи не на измерването на повърхностните скорости, а на следващите интерпретации с тях. А, тези интерпретации са почти идентични с тези при методиката на скоростомера RP-30. Може да се заключи, че по аналогия с метода на

хидрометричните плуваци, грешката при измерване на водното количество ще бъде в порядъка от  $\pm 5\%$  до около  $\pm 12\%$  [2, 6].

#### 4.2.3 Експериментална проверка на точността на метода.

##### Лабораторни изпитания.

Действителната ефективност от приложението на скоростомера *RP-30* се проявява при измерването на водното количество в реки с големи размери на напречното сечение. Въпреки това, за ориентация в практическата точност на измерването бе проведено и лабораторно изпитание в малагабаритния експериментален канал на Лабораторията по хидравлика на НИМХ (Фиг. 19).



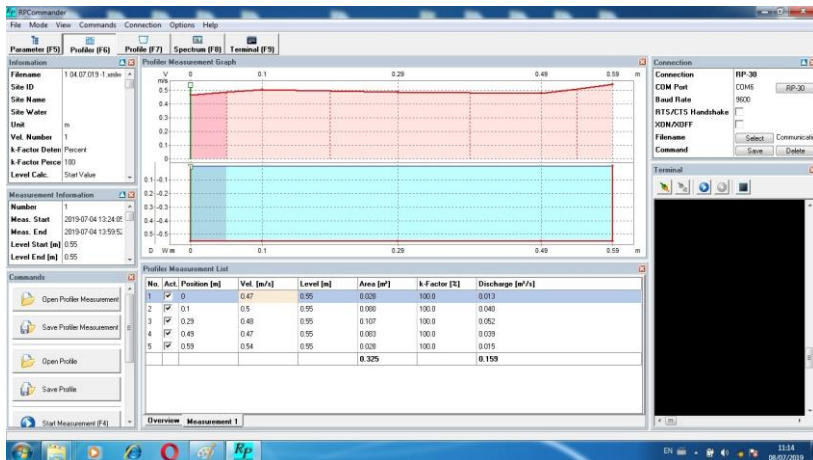
Фиг. 19. Разположение на скоростомера *RP-30* над водната повърхност в експерименталния канал на Лабораторията по хидравлика.

Бяха проведени три серии от измервания при три различни водни количества, пропускани през експерименталния канал. Точният размер на водното количество се контролираше чрез еталонния водомер на лабораторията. Получените резултати се регистрираха върху дисплеите на апаратурата, както е показано на фиг. 20 и фиг. 21.



Фиг. 20 Показание на еталонния водомер на Лабораторията.

Получените резултати от тези сравнителни измервания са представени в таблица 7-AP.



Фиг. 21. Демонстративен екран на лаптопа с резултатите.

Таблица 7-AP. Резултати от лабораторните изпитанията на скоростомера RP-30

Измерване №	Еталонно водно количество $Q_{ет}$	К-фактор	Водно количество по RP-30	Грешка $\delta$
-	$m^3/c$	-	$m^3/c$	%
1	0.166	автоматично	0.1583	- 4.64
2	0.138	автоматично	0.133	- 3.62
3	0.111	автоматично	0.102	-8.11
3	0.111	100 %	0.122	9.91

Резултатите потвърждават очакването, че точността на измерването на водното количество със скоростомера RP-30 ще се движи в границите за възможностите на хидрометричните плуваци. При втория от проведените експерименти, обаче са получени доста добри резултати, като измервателната грешка е - 3.62 %.

### Теренна проверка.

Теренната проверка на уреда бе проведена при две хидрометрични станции и две различни характерни фази на оттока – при високи води и при средни води:

- при ХМС №23850 на р. Янтра при с. Каранци в период на преминаване на висока вълна по реката.
- при ХМС № 51450 на р. Рилска при с. Пастра при средни води.

Проверката бе извършена чрез паралелни измервания на водното количество с хидрометрично вигло *Otto Kempfen* и с лазерния скоростомер RP-30.

### Сравнителни измервания при ХМС № 23850.

Поради бурното състояние на течението, при измерването с хидрометричното витло бе използвано и торпедо с тегло 50 кг. Скоростомерът *RP-30* бе монтиран върху стоманения парапет на моста (Фиг.25).

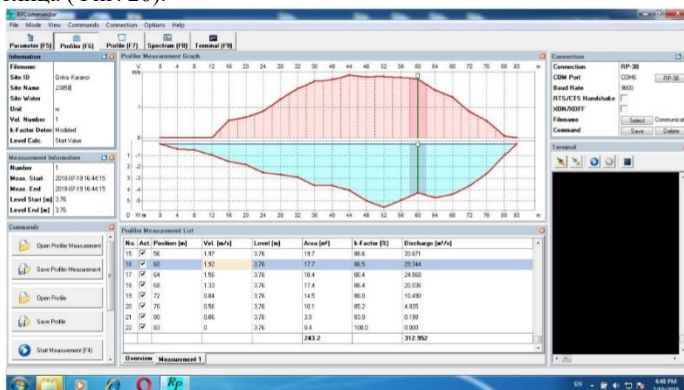
При тази експериментална постановка измерванията се извършиха в 21 скоростни вертикали, разположени през 4 м. по напречното сечение на реката.

Като референтни стойности на измерването бяха приети резултатите получени чрез хидрометричното витло



Фиг. 25. Измеренията на водното количество на р. Янтра от моста на ХМС № 23850 – р. Янтра при с. Каранци със скоростомера *RP-30*

Получените резултати са представени чрез генерираните от системата на уреда графика и таблица (Фиг. 26).



Фиг. 26. Резултати от измерването на водното количество с лазерния скоростомер *RP-30* при ХМС № 23850 на р. Янтра при с. Каранци.

В съответствие с поставената цел на измерванията, получените резултати позволяват да се направи следното сравнение:

Измерване с хидрометрично витло	296.49 м <sup>3</sup> /с
Измерване с скоростомер <i>RP-30</i>	312.95 м <sup>3</sup> /с
Разлика:	16.46 м <sup>3</sup> /с или 5.55 %

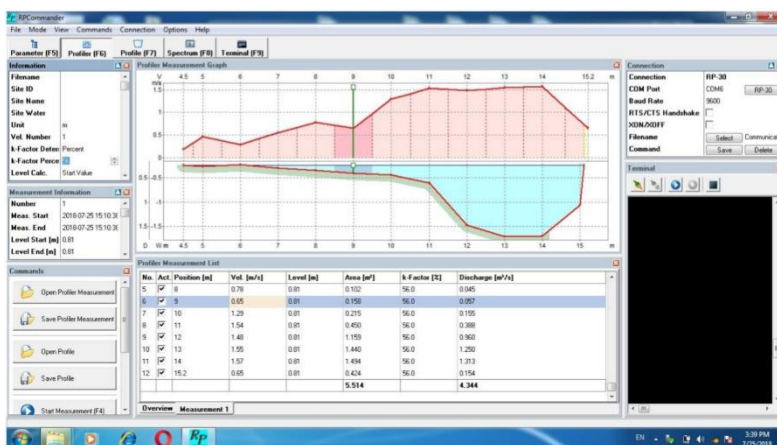
### **Сравнителни измервания при ХМС № 51450.**

При хидрометричната станция съществува измервателна пасарелка, която предварително е разграфена на 11 скоростни вертикали за водните стоежи от средния диапазон на водите, т.е. през 1 м. една от друга.

Измерванията с хидрометричното витло се извършиха от измервателната пасарелка чрез стоманена шанга. А, лазерния скоростомер *RP-30* бе монтиран върху стоманения парапет на пасарелката (Фиг. 27).



Фиг. 27. Организация на измерванията при ХМС № 51450 на р. Рилска при с. Пастра



Фиг. 28. Резултати от измерването на водното количество с лазерния скоростомер *RP-30* при ХМС № 51450 на р. Рилска при с. Пастра.

Генерираните от системата на лазерния скоростомер *RP-30* резултати във вид на графика и таблица са представени на (Фиг. 28).

Извършеното сравнение между получените резултати от измерванията показва следното:

Измерване с хидрометрично витло	4.318 м <sup>3</sup> /с
Измерване с скоростомер <i>RP-30</i>	4.344 м <sup>3</sup> /с
Разлика:	0.026 м <sup>3</sup> /с или 0.60 %

Теренната проверка на скоростомера *RP-30* показва много добро съвпадение на резултатите с тези получени чрез хидрометрично витло. Така, максималното различие в резултатите е установено на около 5.5 % и то при трудните условия за измерване на високи води. Независимо от това, че и двете контролни измервания показват много добри резултати, за надеждни оценки на точността са необходими значително по-голям брой измервания.

#### **4.2.4. Заключение и препоръчителна употреба на метода в оперативната дейност на НИМХ.**

Основното предимство при измерване на водното количество със скоростомера *RP-30* се заключава в безконтактността на измервателната апаратура с течението. От това следват редица други положителни качества, измежду които заслужават внимание следните:

- лесно извършване на измерването, независимо от морфологичните и хидравлични условия на течението, особено в предварително подготвени измервателни профили;
- липсва риск за повреда на апаратурата от въздействието на водата и носените от нея предмети;
- не се налага техническо обслужване след завършване на измерването;
- не се налага провеждането на периодични калибрации на скоростомера;

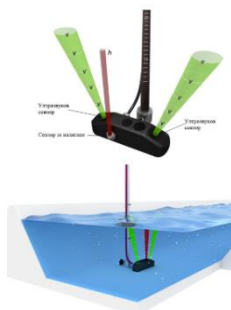
Друго съществено предимство на метода е, че измерването при всяка скоростна вертикала се извършва само в една точка – на повърхностната скорост. Освен това, самото измерване може да трае само няколко секунди. Тези качества на метода му придават висока оперативност и възможност за приложение при някои нестационарни течения в открити легла.

В заключение от горезисложеното може да се констатира, че този метод създава безспорни и почти без конкурентни предимства при измерване на водни количества през фазата на максималния отток в реките.

### **4.3. ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО С ДОПЛЕРОВ ПРОФИЛОЛОМЕР *M-Pro*.**

#### **4.3.1. Същност на метода.**

Доплеровият профиломер *M-Pro* представлява комбиниран уред предназначен за автоматично измерване и регистрация на скоростния профил в дадена скоростна вертикала на безнапорните течения. Той е конструиран в херметичен корпус, който се закрепва на дъното на течението при измерваната скоростна вертикала (Фиг. 29).



Фиг. 29 Доплеров профиломер M-Pro.

Фиксирането на уреда в дъното на течението става чрез стоманена щанга, която се придържа от оператора. Това може да стане от подходящо мостово съоръжение или когато условията позволяват, с пряко газене в реката.

Чрез вграденият сензор за налягане се измерва дълбочината на водното течение при скоростната вертикала, която е необходима за конструиране на скоростния профил.

Чрез вградените два излъчвателно-приемни сензори за ултразвук се извършва измерване на скоростта на водата въз основа на ефекта на Доплер. Двата ултразвукови лъча са разположени симетрично спрямо скоростната вертикала и обезпечават висока надеждност при определяне на скоростта чрез промяната на честотата след отразяване на излъчените сигнали. Приложена е технология със спектрален анализ на времената за връщане на отразените сигнали, чрез която скоростите на водата може да бъде определена в до 128 клетки по дължината на акустичните канали, т.е. по дълбочината на вертикалата. Така се постига дискретизация по дълбочината от 5 мм., което осигурява много подробно описание на вертикалния скоростен профил.

Профиломерът се свързва безжично по мощна HiWi-връзка към влизач в комплектацията му таблет или преносим компютър, с които по разработена програма се изчислява водното количество въз основа на скоростните профили и данните за разположението на всички вертикали.

#### 4.3.2. Налични сведения за точността на метода.

По сведение на производителя, точността при измерване на скоростите е  $\pm 1\%$  от стойността на измерваната скорост. Същият порядък на точността се посочва и при измерването на дълбочината на течението. За очакваната грешка при измерване на водното количество, обаче не се посочват никакви стойности. Това налага тук да се направи една теоретична оценка за неопределеността на това измерване въз основа на суперпозицията на неопределеностите при извършване на отделните измервателни компоненти.

Тъй като, измерването на водното количество с доплеровия профиломер почива върху принципа "скорост-площ", съгласно уравнение (5) измервателните компоненти са 3, т.е. към посочените две трябва да се добави и измерването на широчината  $b_i$  на секторите. Пред вид на трудните условия за точно измерване на тези широчини, тяхната неопределеност, като първо приближение, може да се приеме, че е в порядък до около 5%.

По начина на измерването си тези три величини са независими една от друга и могат да се третират като случайни. А, комбинираната неопределеност  $U$  на резултата от появата на случайни величини може да се изчисли по формулата [10]:

$$U = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} U_i^2} \quad (30)$$

където  $U_i$  са неопределеностите на измерваните величини;  
 $n$  - броят на измерваните величини.

Въз основа на този анализ, за неопределеността на измерването на водното количество с доплеровия профиломер се получава следния резултат:

$$U_Q = \pm \sqrt{U_b^2 + U_h^2 + U_v^2} = \pm \sqrt{5^2 + 1^2 + 1^2} = \pm 5.2 \%$$

### 4.3.3. Експериментална проверка на точността на метода. Лабораторни изпитания

Профиломерът *M-Pro* е предназначен за работа в реки със значителна широчина на напречното сечение. Тази констатация следва от обстоятелството, че сензорният блок е окачен на 110 мм. ексцентрично от щангата, което не позволява неговото позициониране в близост до вертикалните стени на експерименталния канал.

Поради тази причина, при проведените лабораторни изпитания бе приложен и втори вариант за използване на софтуера на прибора само до опцията за получаване на средните скорости в скоростните вертикали.

След това, водното количество бе изчислявано по дигитализиран метод на Харлахер, за който бе използвана друга съществуваща програма на Ексел. Резултатите от двата варианта бяха сравнявани с показанията на еталонния водомер на лабораторията.

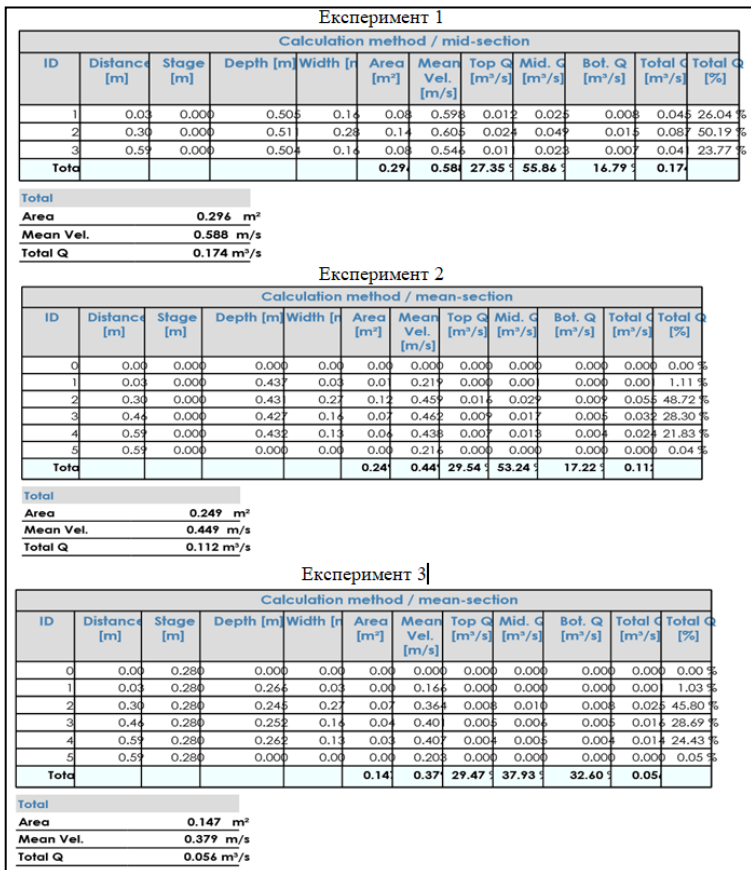
Изпитанията бяха проведени при три различни водни количества, установени по еталонния водомер на метрологичния стенд:

Експеримент 1	$Q_{ет} = 0.176 \text{ м}^3/\text{с}$ ,
Експеримент 2	$Q_{ет} = 0.119 \text{ м}^3/\text{с}$ ,
Експеримент 3	$Q_{ет} = 0.064 \text{ м}^3/\text{с}$ ,

На фиг. 30 са представени резултатите получени по пълния софтуер на уреда, т.е. по заложените в уреда алгоритъм за определяне на напречното сечение.

В таблица 13 е направен сравнителен анализ върху точността на резултатите от извършените лабораторни експерименти.





Фиг. 30. Резултати от измерванията на водното количество по пълния алгоритъм на профиломер M-Pro.

Таблица 13. Сравнителен анализ за точността на резултатите от лабораторните изпитания на M-Pro.

Експер.№	Q етало н	Вариа нт	Q измере но	Гре шка δ
-	m <sup>3</sup> /с	-	m <sup>3</sup> /с	%
1	0.176	1	0.174	-1.13
		2	0.178	1.13
2	0.119	1	0.112	-5.88
		2	0.120	0.84
3	0.064	1	0.056	-12.5
		2	0.063	-1.56

Получените резултати потвърждават високата точност на уреда при измерването на средната скорост във всяка скоростна вертикала. Това се вижда от резултатите получени по втория вариант, където грешката на измереното водно количество е от порядъка на  $\pm 1.5\%$ . Измерванията по първия вариант показват несъвместимостта на уреда с много малките по широчина водни течения, каквото е експерименталния канал на Лабораторията. Конструкцията на апарата не е пригодена за точно определяне на напречното сечение в условията на течения с широчина под 1 м. Тази констатация няма никакво практическо значение, защото най-тесните речни течения са с широчина от порядъка на 5 – 10 м.

#### **Теренна проверка.**

Теренните изпитания за действието на доплеровия профиломер *M-Pro* бяха проведени за два характерни режима на речните течения - при ХМС 21650 на р. Вит при гр. Тетевен (Фиг. 32) в диапазона на средните води и при ХМС 18520 на р. Искрецка при Своге в началото на диапазона за високите води.

Целта на тези първите бе да се провери пригодността на уреда за извършването на бързи измервания с оглед решително подобряване на производителността на оперативния хидрометричен

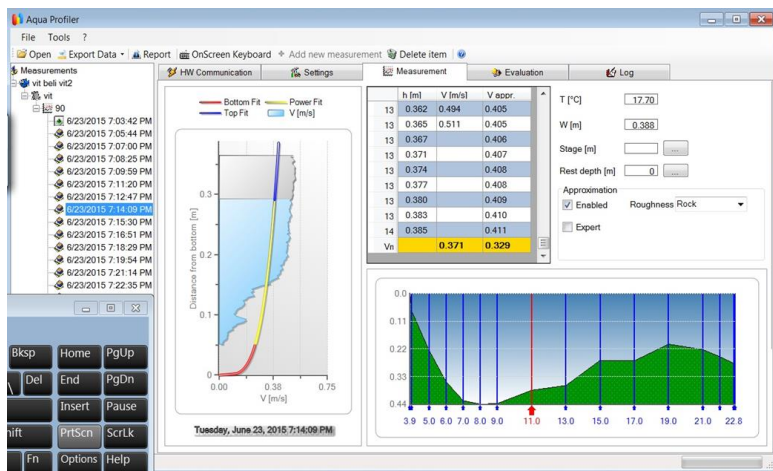
скип.



*Фиг. 32. ХМС № 21650 на р. Вит при гр. Тетевен.*

Широчината на река Вит при станцията е 22.75 м., при което измерването се извърши в 11 скоростни вертикали, предварително разграфени през 1 м. по измервателната пасарелка на станцията.

Измереното водно количество възлиза на 1.908 м<sup>3</sup>/с., но по-важният резултат тук е, че цялото измерване на водното количество е траело само 19 минути (колонката в ляво на фиг. 33). Това означава, че за измерването на средната скорост във всяка отделна скоростна вертикала е било необходимо време само от около една минута. В сравнение с необходимото време за тези измервания чрез хидрометрично витло, това е многократно по-късо време.



Фиг. 33. Разпечатка от лап-топа за измерването във вертикала № 7.

Таблица 14. Резултати от измерването с доплеровия профиломер M-Pro на р. Вит.

Calculation method / mean-section											
ID	Distance [m]	Stage [m]	Depth [m]	Width [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Mean Vel. [m/s]	Top Q [m <sup>3</sup> /s]	Mid. Q [m <sup>3</sup> /s]	Bot. Q [m <sup>3</sup> /s]	Total C [m <sup>3</sup> /s]	Total Q [%]
0	4.00	83.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00 %
1	5.00	83.000	0.278	1.00	0.14	0.08	0.003	0.005	0.003	0.01	0.59 %
2	6.00	83.000	0.354	1.00	0.32	0.190	0.018	0.028	0.014	0.060	3.16 %
3	7.00	83.000	0.452	1.00	0.40	0.27	0.033	0.057	0.017	0.109	5.73 %
4	9.00	83.000	0.492	2.00	0.94	0.370	0.104	0.193	0.050	0.350	18.32 %
5	11.00	83.000	0.447	2.00	0.94	0.418	0.119	0.215	0.054	0.390	20.46 %
6	13.00	83.000	0.395	2.00	0.84	0.392	0.10	0.174	0.055	0.330	17.28 %
7	15.00	83.000	0.317	2.00	0.71	0.344	0.075	0.12	0.050	0.244	12.90 %
8	17.00	83.000	0.287	2.00	0.60	0.299	0.055	0.080	0.044	0.18	9.48 %
9	19.00	83.000	0.21	2.00	0.50	0.205	0.032	0.038	0.032	0.102	5.36 %
10	21.00	83.000	0.233	2.00	0.44	0.12	0.018	0.018	0.020	0.054	2.82 %
11	22.70	83.000	0.297	1.70	0.45	0.163	0.023	0.029	0.02	0.073	3.85 %
12	22.75	83.000	0.000	0.05	0.01	0.108	0.000	0.00	0.000	0.00	0.04 %
<b>Total</b>					<b>6.29</b>	<b>0.303</b>	<b>30.54</b>	<b>50.24</b>	<b>19.22</b>	<b>1.904</b>	
<b>Total</b>											
<b>Area</b>					<b>6.299 m<sup>2</sup></b>						
<b>Mean Vel.</b>					<b>0.303 m/s</b>						
<b>Total Q</b>							<b>1.908 m<sup>3</sup>/s</b>				

Целта на теренните изследвания при р. Искрецка бе да се провери пригодността и постиганата точност при използване на профиломер M-Pro през пълноводните периоди на оттока.

По време на изпитанията максималната дълбочина на реката беше 1.11 м., а максималните скорости на течението от порядъка на 3 м/с. Водата беше мътна и влачеше механични субстанции (дървени късове и камъни). Всичко това силно затрудняваше правилното позициониране на уреда в дъното на реката, като при следващо утежняване на условията това би било невъзможно.

Копие от протокол на устройството е показан на фиг. 34.

Measurement		Device	
River	Iskrivka	Type	AquaProfiler M-Pro
Station	2	Serial	2079
Name	bg		
Measurement team	bg		

Settings	
Blanking bottom [mm]	100
Blanking top [% beam length]	10
Cell size [mm]	7.18
Measurement time [s]	60
speed of sound [m/s]	1436
Temperature [°C]	7.4
Angle to flow [°]	0

Calculation method / mean-section											
ID	Distance [m]	Stage [m]	Depth [m]	Width [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Mean Vel. [m/s]	Top Q [m <sup>3</sup> /s]	Mid. Q [m <sup>3</sup> /s]	Bot. Q [m <sup>3</sup> /s]	Total Q [m <sup>3</sup> /s]	Total Q [%]
0	0.00	1.280	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00 %
1	1.00	1.280	0.169	1.00	0.08	0.293	0.007	0.004	0.013	0.025	0.13 %
2	2.00	1.280	0.709	1.00	0.44	0.525	0.06	0.127	0.042	0.23	1.18 %
3	3.00	1.280	0.990	1.00	0.83	1.527	0.387	0.814	0.097	1.298	6.64 %
4	4.00	1.280	0.998	1.00	0.99	2.648	0.774	1.687	0.164	2.627	13.43 %
5	5.00	1.280	1.115	1.00	1.04	2.938	0.917	2.005	0.18	3.103	15.87 %
6	6.00	1.280	0.908	1.00	1.0	2.680	0.800	1.738	0.164	2.704	13.82 %
7	7.00	1.280	1.006	1.00	0.93	2.112	0.594	1.288	0.134	2.016	10.31 %
8	8.00	1.280	0.960	1.00	0.98	2.204	0.639	1.389	0.139	2.167	11.08 %
9	9.00	1.280	0.94	1.00	0.93	2.12	0.595	1.287	0.134	2.016	10.31 %
10	10.00	1.280	0.768	1.00	0.83	1.624	0.410	0.873	0.103	1.388	7.10 %
11	11.00	1.280	0.547	1.00	0.64	1.558	0.300	0.617	0.108	1.025	5.24 %
12	12.00	1.280	0.458	1.00	0.50	1.354	0.20	0.379	0.097	0.677	3.46 %
13	13.00	1.280	0.278	1.00	0.37	0.685	0.075	0.123	0.052	0.250	1.28 %
14	14.00	1.280	0.037	1.00	0.14	0.204	0.012	0.004	0.017	0.032	0.16 %
15	14.30	1.280	0.02	0.30	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00 %
16	14.40	1.300	0.000	0.10	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00 %
<b>Total</b>					<b>9.86</b>	<b>1.98</b>	<b>29.51</b>	<b>63.08</b>	<b>7.42</b>	<b>19.55</b>	

Фиг.34 Протокол от измерването на водното количество в р. Искреца при Своге.

Измереното водно количество с профиломера *M-Pro* възлиза на 19.550 м<sup>3</sup>/с. За ориентация в постигнатата точност на измерването бе проведено измерване и с хидрометрично витло *Otto Kempten*, което възлизаше на 18.399 м<sup>3</sup>/с. Разликата между двете стойности е 6.26 %, което е от порядъка на най-неблагоприятния резултат при лабораторните изпитания.

#### 4.3.4. Заключение и препоръчителна употреба на метода в оперативната дейност на НИМХ.

Доплеровият профиломер *M-Pro* е едно високо оперативно средство за измерване на водното количество в открити течения, което дава възможност за получаване на крайния резултат още на самото място на измерването. Неговите предимства в сравнение с традиционния начин на измерване с механично хидрометрично витло могат да се сведат към следното:

- Значително по-висока оперативност на измерването, при което с едно позициониране на устройството се получава цифрова и графична информация за целия скоростен профил в скоростната вертикала.
- Значително по-кратко време за извършване на измерванията при скоростните вертикали и от там значително съкращаване във времетраенето на цялото измерване.

- Обективна и нагледна представа за разпределението на скоростите по вертикалата, още по време на измерването, което позволява откриването на аномални зони в течението, внасяне на корекции в схемата на скоростните вертикали и отразяването им в крайния резултат още на самото място на измерването.
- Възможност за приложение на метода при течения с екстремно малки дълбочини – от порядъка на няколко сантиметра.
- Напълно приемлива точност на измерването, която при равни други условия се очаква да бъде малко по-висока от тази при измерване с хидрометрично витло.
- Минимална техническа поддръжка на уреда, без необходимост от периодична проверка и калибрация.

Като недостатък на метода може да се отчете необходимостта от поставяне на сензорният му блок на дъното на реката при всяка скоростна вертикала, което е възможно само при спокойни течения, с ограничена влачеща сила и без наличие на плаващи или влачени твърди субстанции. Това обстоятелство го прави неприложим за измервания през фазата на субсималния отток в реките или при бурното състояние на течението в планинските реки.

В заключение от този анализ трябва да се отбележи, че доплеровият профиломер *M-Pro* е иновативно измервателно средство, което е в състояние да повиши значително оперативността на измервателните технологии в оперативната работа на НИМХ. При равностойна или повишена точност на измерването се съкращава чувствително времетраенето на измервателните работи при всеки обект. Този положителен ефект може да доведе до увеличаване на производителността при експедиционните планови измервания на водни количества в хидрометричните региони на НИМХ.

#### **4.4. ИЗМЕРВАНЕ НА ВОДНОТО КОЛИЧЕСТВО С ХИДРОМЕТРИЧНА СИСТЕМА – "OTT Qliner 2".**

##### **4.4.1. Същност на метода.**

Измервателният уред представлява малка пластмасова лодка тип катамаран (с два съединени корпуса), в която са вградени всички необходими сензори за извършване на измерванията (Фиг. 35). На борда е вграден и трансмитер за осъществяване на безжична радио-връзка (блутут) с цифрово регистриращо устройство (Фиг. 36 и Фиг.37). В дъното на лодката са монтирани четири ултразвукови доплерови сензори за измерване на дълбочината на течението и скоростния профил (Фиг. 38).

Апаратурата е предназначена за извършване на всички измервания от повърхността на водното течение, където се фиксира в плаващо състояние пластмасовото катамаранче.

Ситуирането на катамаранчето в желаната позиция се извършва от мостово съоръжение или чрез специално прекарана въжена линия (Фиг. 39). Управлението на измерването и регистрацията на резултатите се извършва по безжичната връзка чрез дистанционно изнесеното цифрово регистриращо устройство



Фиг. 35 Измервателна система OTT Qliner 2



Фиг.36.Цифрово регистриращо устройство



Фиг. 37 Измервателна система OTT Qliner 2 в действие.



Фиг.38.Разположение на сензорите в дъното на катамаранчето.



Фиг.39 Измерване на водното количество със система OTT Qliner 2

При измерването на водното количество със системата *OTT Qliner 2* се използва описаната вече класическа схема на скоростните вертикали. Получените резултати се демонстрират върху дисплея на устройството.

#### 4.4.2. Налични сведения за точността на метода.

Точността на измерванията на скорост и дълбочина при този метод не отстъпват на тази, както при доплеровия профиломер *M-Pro*. В същност, системата *OTT Qliner 2* също притежава профиломер, с тази разлика, че дълбокомерът е ултразвуков. Но, точността на сензорите е от същия порядък, която за скоростите може да се приеме, че е 0.1 % от измерваната стойност, но не може да бъде по-добра от  $\pm 0.05$  м/с.

За точността при измерване на водното количество няма сведения. По аналогия със анализите направени за профиломера *M-Pro* трябва да се приеме, че тя не е по-добра от  $\pm 5\%$ .

#### 4.4.3. Експериментална проверка на точността на метода. Лабораторни изпитания

При сравнително големите габаритни размери на "лодката" *OTT Qliner 2* със широчина 482 мм. и дължина 957 мм. се оказа, че лабораторната проверка за точността на системата не е особено перспективна, тъй като широчината на експерименталния канал в

лабораторията е със широчина от едва 590 мм. При тези условия в канала може да се организира само една скоростна вертикала, което не отразява добре заложения алгоритъм за експлоатация на уреда. Въпреки това, в порядъка на една ориентираща проверка, бе решено лабораторните изпитания да бъдат проведени.

Извършени бяха три експеримента при различни водни количества. Получените резултати са представени в таблица 16.

Таблица 16. Резултати от лабораторната проверка на системата OTT Qliner 2

№	Q <sub>еталон</sub>	Q <sub>измерено</sub>	Греш ка δ
-	м <sup>3</sup> /с	м <sup>3</sup> /с	%
1	0.176	0.160	- 9.09
2	0.128	0.120	- 6.25
3	0.097	0.080	- 17.52

Големите отрицателни стойности на измервателната грешка се дължат на силното влияние върху крайния резултата на клиновете от напречното сечение при двата уреза на профила, които при проведените експерименти са оценени доста условно.

### Теренна проверка.

Теренната проверка за действието на системата OTT Qliner 2 бе извършена при изследването на комплицираните хидравлични процеси около хидрометричния пункт в изходящия канал от софийската пречиствателна станция за отпадъчни води (СПСОВ "Кубратово") (Фиг. 41).



Фиг. 41. Измервания при изходящ канал от СПСОВ "Кубратово".

Изходящият канал е с правоъгълно напречно сечение при широчина 6 м. и строителна дълбочина 2 м. Режимът на течението в него се характеризира с бавни нестационарни изменения, поради часовата неравномерност на генерираните отпадъчни води в столицата. Тези нестационарни изменения се развиват в доста широки граници – нормално от около 1.500 м<sup>3</sup>/с до около 8.000 м<sup>3</sup>/с.

Получените резултати от измерването на водното количество са обобщени в Таблица17.

Вертикала	Хор.разст. В	Дълбочина	Средна скорост	Скорост на площ	Ср.скор. плоч	ΔВ	Площен отток
-	м.	м.	м/с	м <sup>2</sup> /с	м <sup>2</sup> /с	м.	м <sup>3</sup> /с
Ляв урез	0	0.81	0.4158	0.337			
1	0.25	0.93	0.462	0.430	0.383	0.25	0.096
2	1	0.94	0.951	0.894	0.662	0.75	0.496
3	2	0.94	0.937	0.881	0.887	1.00	0.887
4	3	0.95	0.872	0.828	0.855	1.00	0.855
5	4	0.97	0.797	0.773	0.801	1.00	0.801
6	5	0.97	0.765	0.742	0.758	1.00	0.758
7	5.75	0.97	0.577	0.560	0.651	0.75	0.488
Десен урез	6	0.85	0.5193	0.441	0.501	0.25	0.125
	Средна:	0.95					4.506

Таблица 17. Резултати от измерване на водното количество в изходящия канал на СПСОВ "Кубратово", извършено със системата OTT Qliner 2

Измереното водно количество възлизаше на 4.506 м<sup>3</sup>/с.

Като алтернативно средства за сравнение на получените резултати бе използвано обикновено хидрометрично витло *Otto Kempten*. Измерванията с него се проведеха в същите скоростни вертикали

Полученият резултат 4.178 м<sup>3</sup>/с е малко различаващ се от измерения със системата *OTT Qliner 2*, като разликата е 0.328 м<sup>3</sup>/с или 7.85%. Това сравнение, обаче не може да се приеме за напълно представителен, защото двете измервания се проведеха едно след друго, през което време дебитът в канала се бе променил.

Важният резултат от това сравнение се отнася до технологичните времена за извършване на двете измервания. Докато измерването с хидрометричното витло бе отнело 35 минути, измерването със системата *OTT Qliner 2* отне само 12 минути, т.е. около 3 пъти по-малко. Като се има пред вид, че в бъдеще се очаква повишаване на опита на операторите и усъвършенстване на тяхната координация, може да се очаква, че технологичното време за измерването с *OTT Qliner 2* ще бъде още по- кратко.

Втора теренна проверка на системата *OTT Qliner 2* бе извършена при ХМС №18520 на р. Искър при гр. Нови Искър (Фиг.43). Извадка от протокола на измерването е представена на фиг. 44. За сравняване на резултатите бе проведен и паралелно измерване на водното количество с хидрометрично витло *Otto Kempten*.





Фиг. 43 Измерване на водно количество със системата OTT Qliner 2 на р. Искър при гр. Нови Искър

```

Date: 09/03/2020 Start Time: 11:26:27 End Time: 12:10:00
Sensor_SM: 17
Software_V: 240
Title: \\p\Documents\QlinerData\novi_iskar\Verticals.dat
Made by: p.b
Units: Metric
CellSize: 0.20
Blankings: 0.05
Immersion: 0.00
Nr_of_Cells: 25
Measure_time: 30
Spacing: 1.00
Use_Beam_3: Yes
Upstream water Level: 106
Downstream water level: 100
Control_text: unscr
NOTES
>HD METRS
-----SUMMARY-----
Edge 1: 4.00
Edge_1_Depth: 0.00
Edge_1_Factor: 0.99
Edge_2: 38.80
Edge_2_Depth: 0.00
Edge_2_Factor: 0.99
Position 4,000 5,000 6,000 7,000 8,000 9,000 10,000 11,000 12,000 13,000 14,000 15,000 16,000 17,000 18,000 19,000 20,000 21,000 22,000 23,000 24,000 25,000
Vertical 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
MeanVel_ 0.692 0.584 0.523 0.631 0.687 0.774 0.676 0.776 0.650 0.753 0.780 0.724 0.595 0.636 0.592 0.489 0.550 0.488 0.598 0.721 0.655 0.747
Depth_ 0.350 0.780 0.800 0.910 0.860 1.240 1.310 1.300 1.500 1.560 1.420 1.500 1.760 1.710 1.700 1.510 1.120 1.060 1.510 1.520 1.460 1.340
Q_ 0.121 0.475 0.499 0.574 0.593 0.960 0.886 1.057 1.049 1.175 1.187 1.151 1.048 1.008 1.006 0.748 0.616 0.517 0.899 1.112 0.956 1.001
Edge_Q_ 0.000
Total Q : 28.75 1 0.12

```

Фиг. 44 Извадка от протокола на измерването на водното количество със системата OTT Qliner 2 в р. Искър при гр. Нови Искър.

Получените резултати от сравнителните измервания са представени в таблица 19.

Таблица 19 Резултати от сравнителните измервания на водното количество в р. Искър при гр. Нови Искър

№	Измервателно средство	Q	Разлика
		м <sup>3</sup> /с	%
1	Система OTT Qliner 2	28.750	- 0.32
2	Витло Otto Kempfen	28.842	

Полученият резултат показва едно отлично съвпадение на резултати

## **Заклучение и препоръчителна употреба на метода в оперативната дейност на НИМХ.**

Хидрометричната система *OTT Qliner 2* представлява едно високо технологично и оперативно измервателно средство, предназначено за универсално приложение при измерване на водното количество в реки и канали. Най-важното му качество е, че измерванията се извършват от водната повърхност, където устройството се позиционира в плаващо състояние, без необходимост от дълбочинно проникване в течението. Това му осигурява следните предимства пред традиционните начини за измерване на водното количество:

- Значително по-висока оперативност на измерването, при което с едно позициониране на устройството се получава цифрова и графична информация за целия скоростен профил в скоростната вертикала.
- Значително по-кратко време за извършване на измерванията при скоростните вертикали и от там значително съкращаване във времетраенето на цялото измерване.
- Обективна и нагледна представа за разпределението на скоростите по вертикалата, още по време на измерването, което позволява откриването на аномални зони в течението, внасяне на корекции в схемата на скоростните вертикали и отразяването им в крайния резултат още на самото място на измерването.
- Възможност за приложение на метода при течения с дълбочини в голям диапазон на тяхното изменение от 0.35 м. до 10 м.
- Напълно приемлива точност на измерването, която при равни други условия е не по-лоша от тази при измерване с хидрометрично витло.
- Минимална техническа поддръжка на уреда, без необходимост от периодична проверка и калибрация.

Като недостатък на метода може да се отчете неприложимостта му при бурни течения, които се характеризират с високи напречни пулсации на скоростта, влачене на големи твърди субстанции – дървета, камъни и други твърди предмети. Това обстоятелство ограничава приложението му през фазата на максималния отток в реките до случаите, когато е възможно повърхностното му позициониране в скоростните вертикали и не съществува риск от понасяне на тежки удари от влачените предмети.

## **5.ЗАКЛУЧЕНИЕ**

Дисертационният труд има преобладаващо приложна насоченост. Мотивацията за неговото разработване е да се даде известен принос за усъвършенстване на оперативната работа на НИМХ по измерване на водните количества в реките, като национален център за наблюдение и оценка на водните ресурси на България.

Хидрологичните процеси, чието изучаване стои в основата на тези оценки, спадат към случайните явления. Известно е, че тяхното изследване става най-добре чрез дългогодишни серии от наблюдения. Речният отток, като стохастичен процес е една от най-важните компоненти на хидросферата, от чието изучаване зависят множество други дейности на съвременните общества. Преките наблюдения върху неговия режим е тясно специализирана дейност, върху която се базира изграждането и експлоатацията на един цял отрасъл – националното водно стопанство и защитата от вредното въздействие на водите – засушаванията и наводненията.

Периодичното измерване на водното количество при хидрометричните станции е важна процедура при тази дейност, без която е невъзможна количествената оценка на повърхностните водни ресурси.

При хидрометричните станции, все още, се водят непрекъснати или срочни наблюдения само върху водния стоеж в реките. Това се дължи на обстоятелството, че те се осъществяват със сравнително прости средства, които не са чувствителни към режимните промени в кинематичната структура на речните течения. Известно е, че през фазата на високите води речните течения развиват огромни влачеши сили и причиняват изравняния на речното легло и бреговете, което в последствие води до наслагвания на транспортираните седименти в други негови участъци. На такъв режим трудно може да устои каквато и до било измервателна апаратура, намраща се в непрекъснат пряк контакт с течението.

За преминаване от наблюдаваните водни стоежи в реките към стойността на протичащото в момента водно количество се използват т.н. "ключови криви", които изразяват емпиричната зависимост между водния стоеж и водното количество. Най-сигурният начин за нейното получаване е чрез измерване на водното количество при различни водни стоежи в реката. Този подход е рутинна практика у нас и се прилага систематично още от 1935 година, до когато са съществували т.н. "водочетни" станции за наблюдения само над водните стоежи при ограничен брой речни пунктове.

Ключовата крива е връзка, която зависи от геометрията и морфологията на речното легло. Проблемът, който съществува от тогава и до днес е, че поради изложените по-горе причини тя е много динамична и изменения в нея могат да се наблюдават след преминаването на всяка висока вълна по реката. Това налага извършването на няколко нейни актуализации в течение на всяка година. Добрата практика налага измерванията на водните количества да се извършват след преминаването на всяка значителна висока вълна. Това не винаги е лесно осъществимо, защото максимален отток често се наблюдава едновременно в реките на големи райони, което е особено характерно за пролетното пълноводие. А, екипите на НИМХ натоварени с тази дейност имат ограничен времеви капацитет, който е съобразен с плановата дейност по разработка на ключовите криви. През такива екстремни периоди се налага сериозна интензификация на тяхната работа, като в същото време е необходимо да се поддържа високо ниво на нейното качество.

Съвременното развитие на хидрометричното уредостроене предлага добри възможности за постигане на тази цел. Тези възможности, обаче трябва да се проучат много добре, преди да се пристъпи към системно доставяне на необходимата екипировка. Настоящият дисертационен труд отговаря на част от тези потребности и съдържа необходимата научно-техническа обосновка за целесъобразни инвестиции в иновативните технологии при наблюдението на водите в нашата страна.

## **6.ЛИТЕРАТУРА.**

1. Станчев Ст., Хидравлика, Техника, С., 1959.
2. Марчинков Б., Хидрология, Техника, С., 1973
3. Маринов Ив.,Инженерна хидрология, Техника, С., 1984.
4. Соломенцев Н.А., Гидрометрия, Л., 1949.
5. Сунгарски Ст., Водно дело, Техника, С., 1969.
6. Чиликова-Любомирова М., Метрологична оценка на методите за измерване и наблюдение на водното количество, Дисертационен труд за образователната и научна степен "доктор", ИВП-БАН, С. 2008.
7. Линслей Р. К., М.А.Колер, Д.Л.Паулос, Прикладная гидрология, Гидромгиздат, Л., 1963.

8. Монеv Е., Числени изследвания върху хидрометричния модел на водното количество при безнапорни течения в призматични легла, Водни проблеми, 34, ИВП-БАН, 2004.
9. ISO/TR 5168, Measurement of Fluid Flow – Evaluation of Uncertainties, Technical Report, International Organization for Standardization, Geneva, 1998.
10. Монеv Е., В. Димитров, Р. Маринов, Ст. Маринов, Актуализиране на калибрационната зависимост и привеждане на съществуващия водомерен пункт в изходящия канал на ПСОВ „Кубратово” в съответствие с преливния режим на монтирания измервателен преливник, Технически доклад, ИГ Екзос Интернешънъл ООД, С., 2014.

## **7. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.**

Проблематиката и специфичната същност на засегнатите въпроси в дисертационния труд дават основание за извеждане на претенции за следните научно-приложни и приложни приноси в постигнатите резултати от техния автор:

1. Въз основа на добро познаване на оперативната работа на НИМХ в сферата на наблюденията за оттока на реките и научен анализ върху методите за измерване на водното количество са разкрити основните недостатъци на прилаганите до сега традиционни измервателни методи и средства.
2. Проучени са възможностите и е овладяно приложението на четири иновативни средства за измерване на речните водни количества, произведени от водещи световни фирми в хидрометричното уредостроене, доставени в НИМХ с оглед на апробация и обосновано внедряване в оперативната му дейност.
3. Извършена е експертна оценка на качествата, оперативността и точността на иновативните средства за измерване на водните количества от гледна точка на специфичните нужди и изискуема практика в НИМХ.
4. Проведени са лабораторни изпитания върху точността на набелязаните иновативни средства за измерване на речните водни количества.
5. Извършени са теренни изпитания на набелязаните измервателни средства при реални обекти в нашата страна с оглед установяване на действителните им оперативни качества и пригодност за внедряване в оперативната работа на НИМХ.
6. В резултат от извършените теоретични и експериментални оценки върху качествата на изпитваната иновативна хидрометрична апаратура са изведени съответните заключения и направени аргументирани препоръки за внедряването ѝ в оперативната работа на НИМХ.

## **8. ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.**

1. Ангелов Пл., Иновативни методи за хидрометричен мониторинг“, Младежки научен форум, ВТУ Тодор Каблешков, С., 2016.
2. Angelov P., Contemporary devices for measurement of water discharge in open flows, XXVII International Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management., Varna, Golden Sands, 26 to 28 September 2017.
3. Angelov P., Hydrometric monitoring of rivers in conditions of extreme phenomena - methodological and technological innovations, International Scientific Conference "Conserving Soils and Water", Burgas, 29.08 to 01.09.2018.

## **9.БЛАГОДАРНОСТИ**

Благодаря на научния ръководител проф.дтн.инж. Евелин Монеv за подкрепата, напътствията и съветите, които получавах в процеса на работата. Благодаря му и за търпението, което проявяваше по време консултациите. Специални благодарности към зам.директор проф. д-р инж. Пламен Нинов за цялостната подкрепа и ценните съвети в последния етап от работата по дисертационния труд, както и към колегите от секция "Хидрология" за проявеното разбиране, на доц. д-р инж. Ерам Артинян, за оказаните консултации, подкрепа и съвети, които получавах.