Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology

Национален институт по метеорология и хидрология

National Institute of Meteorology and Hydrology

Bul. J. Meteo & Hydro 23/1 (2019) 106-124

Experiments of optical determination of surface water velocity based on LSPIV method in Bulgarian rivers

Andrey Naldjiyan[*]**, Petko Tsarev, Eram Artinyan**

National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH), 139 Ruski blvd., 4000 Plovdiv, Bulgaria

Abstract: Measuring the transitory water velocity is a key moment in surface water resources estimation and high river flow detection. As the continuous measurement of river velocity is difficult and expensive to conduct, traditionally only the method of propeller measurements is applied one or more times in a month from the hydrologists. Using a "rating curve" the obtained measures are combined with the continuous measurement of water levels, to compute the time series of water discharges at certain cross-section. Manually conducted propeller measurements are expensive, sometimes very difficult because of high water speeds and heavy weather. This paper presents the first experiments of non-contact surface water velocity determination, using the method of large-scale particle image velocimetry (LSPIV) conducted in two different river sections in Bulgaria – a partial section of Maritsa River in Plovdiv and partial section of Varbitsa River near Kardzhaly. The described LSPIV method permits to implement a cheaper and robust way of remote water surface velocity determination at locations where a video camera can be installed, maintained and remotely accessed. We depict the process of site preparation, the needed instruments, retrieval of video-clips and further video-clip processing methodology using two alternative software packages to the first stage - obtaining the surface velocity field of the river flow at a certain moment.

Keywords: River water velocity, LSPIV

* andrey.naldzhyan@meteo.bg

Експерименти с оптично определяне на повърхностната скорост на потока в река по метода LSPIV

Андрей Налджиян, Петко Царев, Ерам Артинян

Национален Институт по Метеорология и Хидрология (НИМХ), бул. Руски 139, 4000 Пловдив

Резюме: Измерването на моментната скорост на водата е ключово при оценката на повърхностните водни ресурси и измерването на висок речен отток. Тъй като непрекъснатото измерване на скоростта на реката е трудно и скъпо, традиционно от хидролозите един или повече пъти в месеца се прилага метода на измерване с витло. За да се изчисли редицата на водните количества при определено напречно сечение, получените (месечни) измервания се комбинират с непрекъснатите измервания на водния стоеж посредством „ключова крива". Ръчно провежданите измервания с витло са скъпи, понякога много трудни поради високата скорост на водата и атмосферните условия. Настоящата статия представя първите експерименти за безконтактно определяне на повърхностната скорост на вода в речно течение, използвайки оптичен метод на измерване на скоростта на плаващи едро-мащабни частици (LSPIV), приложен в два различни речни участъка в България - частичен участък на река Марица в Пловдив и частичен участък от река Върбица край Кърджали. Описания метод LSPIV представлява сравнително евтин и устойчив начин за определяне, при наличие на преводен коефициент и профил на дълбочините, на средната скорост и водното количество протичащо през дадено сечение на водното течение на места, където може да бъде инсталирана видеокамера, поддържана и достъпна от разстояние. В текста проследяваме процеса на подготовка на пункта, телекомуникацията и методиката на обработката на видеоклиповете с помощта на два алтернативни софтуерни пакета до първия етап - получаване на полето на повърхностната скорост на речното течение в определен момент.

Ключови думи: Повърхностна скорост на речно течение, LSPIV

1. УВОД

Получаването на статистически данни за оттока в реките и съответно за голямата част от водните ресурси на сушата не е възможно да се осъществи с достатъчна точност единствено въз основа на моделни изчисления. Извършването на хидрометрични измервания на водни количества (ВК) и водни нива (ВН) при определени предварително оборудвани места на реките е част от дейността по оценката на водните ресурси в страната, но така също и необходима предпоставка за осигуряване на навременна реакция при опасност от наводнения. Това налага приложението на автоматизирани наблюдения на ВН и телеметрични технологии за пренос на данните до събирателни центрове.

Измерването на ВН с електронни устройства се осъществява контактно с датчици за налягане или безконтактно с датчици за разстояние. Двата типа сензори се прилагат рутинно в практиката на Националния Институт по Метеорология и Хидрология в България (НИМХ). Данните от над 90 хидрометрични станции (ХМС), от общо около 260, се предават автоматизирано до събирателен център на всеки час. Автоматизираното измерване на ВК е по-трудно за осъществяване защото изисква измерване на дискретни скорости и дълбочини в целия профил и изчисление на средната скоростта на потока и съответната площ на едно по-принцип променливо във времето сечение, каквото е при естествените речни профили. Въпросът се усложнява от необходимостта да се измерва ВК при определени екстремални водни нива – високи води, когато течението е много силно, при лоши атмосферни условия или при много ниски води.

1.1. Уреди за автоматизирано отчитане на скоростта на водата в река

Съществуват множество технологии за измерване на скоростта на частици (Berkovic G. and Shafir E., 2012), но повечето произвеждани уреди за автоматизирано измерване на скоростта на водата косвено измерващи ВК, използват променливата отражаемост (честота и дължина на вълната) на движещи се във водата частици – т.н. доплеров ефект. Пример за такова устройство е acoustic current Doppler profiler - ADCP (Jeng-Wen et al., 2016). Устройствата могат да се използват при полеви хидрометрични измервания, при което се налага човешко участие или да се монтират постоянно извън водата или вътре в потока. Предвид високата им цена съчетана с реална опасност от разрушаване (от естествени или антропогенни причини) и съответно скъпо възстановяване, те все още имат ограничено използване.

Тук разглеждаме един алтернативен, сравнително евтин и лесен за прилагане способ за измерване на повърхностната скорост на водата в профила на водно течение по безконтактен начин чрез използване на заснет от видео-камера филм с продължителност под 20 секунди.

Може да се приеме, че първообраз на този способ е класическото измерване на повърхностната скорост „с плуваци”*, което се прилага при много високи води и бурно течение, когато измерване с хидрометрично витло не е възможно. Средно-аритметичната повърхностна скорост се използва за изчисление на средната скорост в течението чрез преводен коефициент. Той на свой ред се получава от сравнителни измервания правени едновременно с „плуваци” и по традиционния метод с хидрометрично витло.

---

* При метода „с плуваци” хидролозите спускат последователно по течението на реката няколко плаващи предмета и измерват със секундомер времето, за което „плуваците” изминават предварително зададено разстояние.

Тук ще се ограничим до намирането на средства и методи за изчисление на повърхностната скорост на водното течение в профил в близост до ХМС с налични данни за измервания на скоростта на водата, които ще послужат за сравнение и валидиране на получените резултати от обработката на видео-изображенията. Независимо от това методът, който разглеждаме позволява въвеждане на профил на дълбочините в реката, преводен коефициент за изчисление на средната скорост и съответно изчисление на водното количество в дадения момент.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

2.1. Описание на метода на измерване на скоростта по изображение на едро-мащабни частици

Описания тук метод - Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) е разработен (Fujita I., 1998) и използван за много случаи, включително при които за конкретното речно сечение не са налични предварително никакви данни (Le Boursicaud, 2015). Например след преминаване на висока вълна в река или дере през населено место без хидрометрични измервания. Единственото което е абсолютно необходимо предварително, е наличието на видео-материал с продължителност над 7-8 секунди, включващ в кадъра изображение на речното течение по време на събитието. Останалите данни необходими за изчислението на ВК се събират и анализират в последствие: данни за водното ниво, позиция на маркери за орторектификация на изображението и др. Възможността за видео-заснемане с таблети, телефони, фотоапарати и масовото разпространение на видео-клипове в интернет прави възможно анализирането на преминали или случващи се наводнения[**] по наличните видео-кадри.

LSPIV е метод за изчисление на повърхностната скорост на водата чрез анализ на видео кадри. Това е ценен инструмент за измерване на водния отток, когато традиционните методи на измерване са недостатъчни за потвърждение на теоретичните измервания или като резервен вариант за директно измерване на оттока. Този метод е особено подходящ за използване при реки и потоци, чиито нива се променят много бързо и водят до предизвикване на внезапни наводнения. Освен това измерването на скоростта и оттока по време на наводненията често е невъзможно с традиционните техники за измерване, когато високите скорости и многобройните плаващи предмети, застрашават човека и оборудването. Хидрометрията чрез анализ на последователността на изображението е интересна алтернатива, която позволява измерване на моментни повърхностни скорости. Анализът на последователностите от изображения дава възможност да се измери

** епизоди с високи води потенциално причиняващи щети

2D полето на повърхностната скорост при условие, че съществуват видими маркери - плаващи на повърхността частици (растителни остатъци, малки поплавъци и т.н.), мехурчета или модели с турбулентност определят потока, като остават разпознаваеми от едно изображение в друго. За целта се използва видео камера с подходяща резолюция като се избира обектив с подходящо фокусно разстояние за избягване на изкривяването. Заснема се видео клип и след това се обработва чрез подходящ LSPIV софтуер.

Използван е софтуерния пакет със свободен достъп с отворен код – GNU General Public License (GPL) FudaaLSPIV (Le Coz, 2014; Jodeau, 2017) изготвен в IRSTEA – Франция и софтуерен пакет със свободен достъп Rectification of Image Velocity Results (RIVeR) (Palatano et al., 2017) съчетан с Particle Image Velocity (PIVlab) (Thielicke, and Stamhuis, 2014). Използването на PIVlab изисква лиценз за софтуера MATLAB. За извличането от видео-файловете на дискретни jpeg изображения е използван софтуера с отворен код и свободен достъп на фирма MOBOTIX mxgconv_win32.exe (MOBOTIX SDK).

Последователността на работа е следната:

- Импортиране на поредица от изображения или образци от видеоклип
- Орторектификация: коригиране на визуалната перспектива на изображенията задаване на метричен размер на пикселите
- PIV анализ: изчисляване на повърхностните скорости чрез статистически анализ на движението на маркерите
- Прилагане на филтри към резултатите за скоростта, изчисляване на средната скорост на движение на маркерите от цялото видео-изображение
- Изчисляване на оттока, като се използва профила на дълбочините и коефициент за получаване на средната скорост в сечението.

Програмата предлага два метода за орторектификация:

- Мащабиране: когато изображенията не са изкривени от перспективни ефекти, простото мащабиране в метри на пиксел е достатъчно
- Пълна орторектификация: когато изображенията са изкривени от перспективни ефекти трябва да се направи орторектификация на базата на референтни точки. За целта се въвеждат минимум четири референтни точки.

2.1. Принцип на орторектификация

Връзката между действителните координати на точката *X, Y, Z* и координатите представящи я в снимката *i, j* се нарича *DLT* (Direct Linear Transformation – директна линейна трансформация)

$$i = \frac{a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4}{a_9X + a_{10}Y + a_{11}Z + 1} \quad (1)$$

$$j = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1} \qquad (2)$$

Коефициентите a_i нямат физическо значение, но са комбинации от вътрешни и външни параметри на изображението. Предишните изрази (1) и (2) могат да се запишат в матрична форма.

Възможно е да се реши системата от уравнения в матрицата ако разполагаме с референтни точки, чиито реални координати и координати в изображението са познати. Отнася се за точки видими на изображението, чиито реални координати са измерени на терен. В матрицата има 11 неизвестни коефициенти a_i, а всяка референта точка внася една координата *i, j* следователно е препоръчително да се използват минимум 6 референтни точки.

Софтуерът решава системата от уравнения като свързва всяка точка *i, j* от изображението с координати от реалното пространство *X, Y, Z*.

Трансформираното изображение представлява коригиран от ефекта на перспективата подходящо мащабиран върху дадена повърхност изглед. Повърхността може да бъде изразена във функция от *X, Y (3)*.

$$Z = b_1 X + b_2 X + b_3 \qquad (3)$$

При приемане на хипотезата, че напречния и надлъжния наклон са пренебрежими в рамките на изгледа и че системата на реалните координати е изразена спрямо повърхността на реката (*X, Y* са паралелни на повърхността на реката), горното уравнение се редуцира до $Z=b_3$, където b_3 е височината в реалното пространство.

В орторектифицираната картина интензитета на сивия цвят се определя за всеки пиксел *i, j* спрямо съответстващите данни в оригиналната картина.

2.3. Принцип за измерване на скоростта на движещите се обекти

На орторектифицираните изображения се извършва корелационен статистически анализ за определяне на изместването на видимите по повърхността маркери. Софтуерът Fudaa LSPIV използва оптимизиран алгоритъм за мащабни пространствени приложения с ниска разделителна способност. Изчислява се корелацията между прозореца на изследване центриран в точка a_{ij} в изображението и същата IA центрирана на точка b_{ij} в следващото изображение като изображенията са отделени с времеви интервал в секунди Δt.

Корелационният коефициент е R в стойности от 0.4 до 0.98 като зависи от вида на плаващите маркери. При маркери с постоянна форма (твърди обекти) $R=0.7$, при маркери с променлива форма като водовъртежи, мехурчета или пяна $R=0.4$.

2.4. Сравнение на двата алтернативни софтуера за измерване на скоростта по видео-изображение на движение на едро-мащабни частици

Като цяло PIVlab е ориентиран към изчисление на скоростта на всякакви частици заснети на видео-изображение докато FudaaLSPIV е насочено конкретно към хидрометрични изчисления.

За разлика от софтуера FudaaLSPIV, който изисква предварително орторектифицране чрез въвеждане на поне 6 референтни точки, алтернативният софтуер PIVlab предлага по-достъпен метод: интерактивно въвеждане на разстояния и ъгли върху самото изображение. По този начин по-бързо може да се калибрира картината и да се достигне до резултат. В същото време определянето на реални разстояния и ъгли не винаги може да се направи само по наличното видео-изображение. Чрез RIVeR-PIVlab се работи като за фон се използва оригиналното изображение докато при FudaaLSPIV то се „изправя" когато се рисуват векторите на скоростта. PIVlab позволява да се въведе правоъгълна или многоъгълна маска на изображението, извън която не се пресмятат вектори на скоростта. При FudaaLSPIV за тази цел се използва четириъгълна мрежа с променливи размери и ъгли в четирите края. Двата софтуера предоставят различни филтри за премахване на очевадно грешните стойности на изчислените скорости. FudaaLSPIV може да ограничи резултата между зададени минимална и максимална стойност по двете оси и чрез стойностите на коефициента на корелация между две последователни форми. При PIVlab полето на моментните скорости се изобразява в X-Y плот и може да се ограничи по четирите посоки чрез очертаване на правоъгълник. PIVlab може да ограничи резултатите на изчислените скорости чрез отхвърляне на стойности извън граници определени около стандартното отклонение.

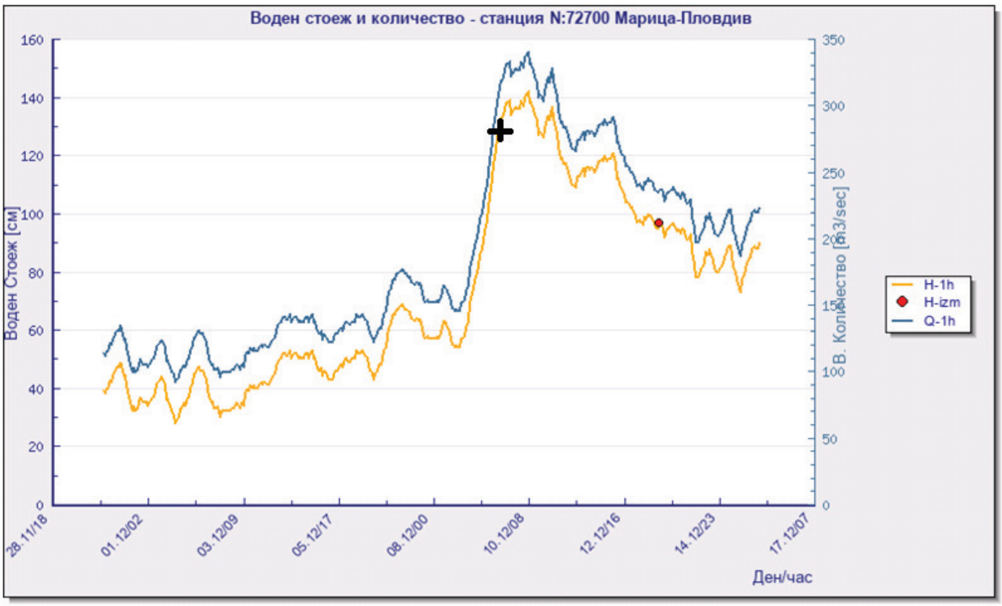
2.5. Места на измерване, използвана апаратура, технология на заснемане

2.5.1. Материали използвани при работата на р. Марица при Пловдив

В рамките на нашето изследване бяха използвани кадри от видео-клип заснет на р. Марица в Пловдив – ХМС № 72700 в 15:00 ч. на 9.12.2014 г. при относително високо ВН: 128 cm (Фигура 1) и ВК по временна ключова крива 308 m^3/s. На 13.12.2014 г. от хидролозите е направено измерване с хидрометрично витло при ВН=97 cm, максимална скорост Vmax=2.111 m/s и изчислено ВК=236 m^3/s. За сравнение, през 2014 г. средното ВН е 13 cm, а максималното ВН=142 cm.

Камерата на р. Марица, марка MOBOTIX модел M25, снабдена обектив с фокусно разстояние 3.6 mm, е монтирана на мачтата на соларния панел на мост в гр. Пловдив и функционира от 11.2014 до началото на 2018 г. като само през декември

2014 и февруари 2015 г. е отчетен по-висок воден стоеж – до 162 cm. Тогава също от хидролозите е направено измерване на ВК (ВН=162 cm, Vmax=2.396 m/s, ВК=420 m^3/s). Камерата функционира през целия период с автономно захранване от соларен панел с номинална мощност 35W и напрежение 12V и акумулатор 21Ah. Активира се за 10 минути на всеки кръгъл час в светлото време на деня като на всеки час заснема и изпраща чрез 3G комуникация видео-клип с дължина 10 секунди към FTP сървър в събирателен център за данни. При условие че месечно акумулирания трансфер на данни не надвиши този на абонамента на СИМ картата за комуникация и се използва максималната скорост за трансфер на данни размера на файла с един видео-клип, с размер 2048/1536 пиксела и резолюция 96 dpi, достига до 20 MB. Големината на файла зависи от постигнатата чрез фирмения формат на MOBOTIX MxPEG компресия.



Фиг. 1. Едночасови серии на водни нива (в жълто по лява скала) и водни количества по временната ключова крива на р. Марица – Пловдив от 01.12.2014 до 15.12.2014 г. Водното ниво от измерването по традиционния хидрометричен метод с витло е дадено с червена точка, а нивото на заснемане на видео-клипа е маркирано с кръст.

Fig. 1. Hourly series of water level (in yellow to the left scale) and streamflow discharge computed using the temporary rating curve of Maritsa River at Plovdiv from 01.12.2014 to 15.12.2014. Water level of the measured by the hydrologists streamflow discharge is given by a red dot. Water level of the video-clip is marked by a cross sign.

На същото място е монтиран и сензора за автоматизирано телеметрично отчитане на ВН в реката тип радар, което позволява да се комбинират данните от камерата с тези за водното ниво.

За орторектификацията на видео-изображенията са отчетени с GPS система географските координати на 12 точки по бреговата ивица и на островите в реката. Котирането е направено при ниски води на 3.06.2015 г. (Фигура 2)

Фиг. 2. Картина от котирането на бреговата ивица на р. Марица в Пловдив с цел орторектификация на картината на видео-клиповете. Маркерите се забелязват като бели квадрати.

Fig. 2. Image taken during the measurement of points coordinates on Maritsa river banks in Plovdiv needed by the orthorectification of video-images. The markers are visible as white rectangles.

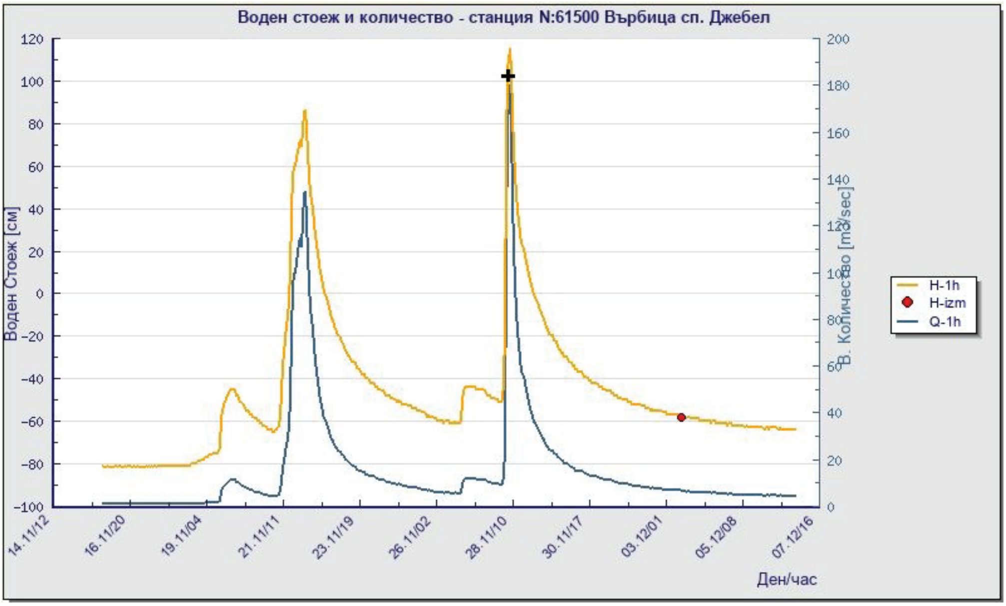
Фиг . 3. Кадър от видео-клип заснет в 15:00 на 9.12.2014 г. на р. Марица Пловдив по време на валеж. Ясно се виждат плаващи петна от пяна на повърхността на водата. На изображението са добавени точките с маркери за орторектификация на картината от №1 до №12.

Fig . 3. Image from video recorded at 15:00 - 9.12.2014 г. at Maritsa River in Plovdiv during a rain event and high flow. Floating spots of foam are clearly visible at the water surface. Points from №1 to №12 for the orthorectification procedure are added to the image.

2.5.2. Материали използвани при работата с р. Върбица до Кърджали

За р. Върбица до гр. Кърджали е монтирана същия модел камера, но използваният обектив е с фокусно разстояние 4.1 mm. На същото място е монтиран сензора за автоматизирано телеметрично отчитане на ВН в реката тип бълбукащ сензор за налягане, което позволява да се комбинират данните от камерата с тези за водното ниво.

Бреговете на реката са котирани на 16.11.2018 г., при което са измерени координатите на 9 точки : 5 откъм страната на камерата и 4 от срещуположната страна. Изображенията са с размер 1024x768 и резолюция от 96 dpi.

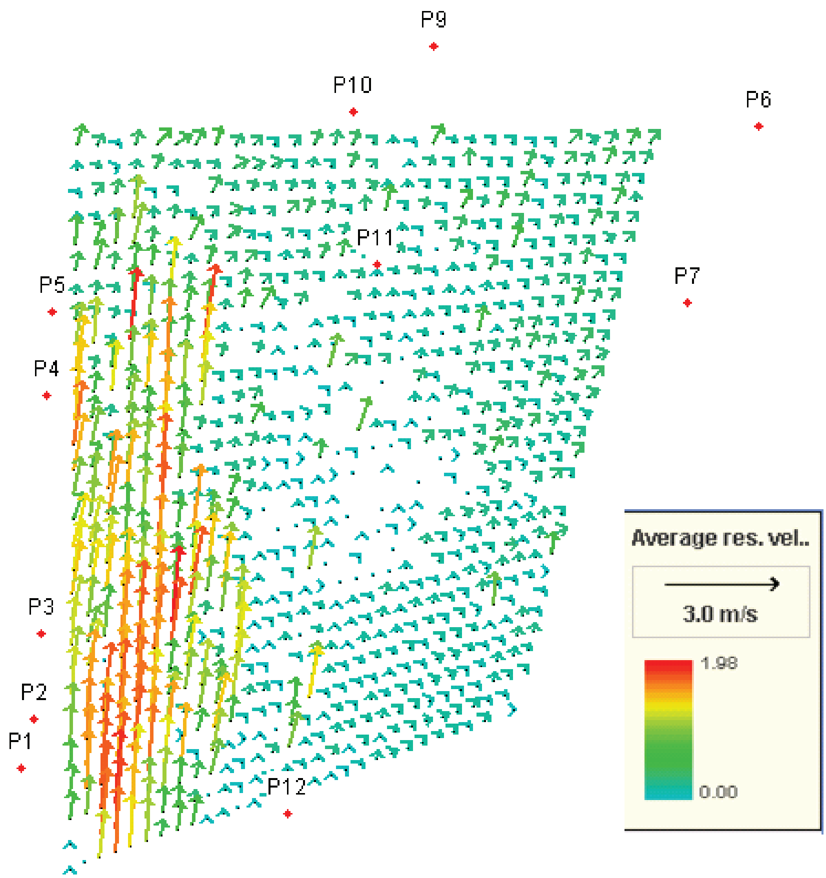


Фиг. 4. Водни нива (в жълто по лява скала) и водни количества по временната ключова крива на р. Върбица – спирка Джебел от 16.11.2018 до 06.12.2018 г. Водните нива от измерванията по традиционния хидрометричен метод с витло са дадени с червени точки, а нивото на заснемане на видео-клипа е маркирано с кръст.

Fig. 4. Hourly series of water level (in yellow to the left scale) and streamflow discharge computed using the temporary rating curve of Varbitsa River at Dzhebel stop from 16.11.2018 to 06.12.2018. Water level of the measured by the hydrologists streamflow discharge is given by a red dot. Water level of the video-clip is marked by a cross sign.

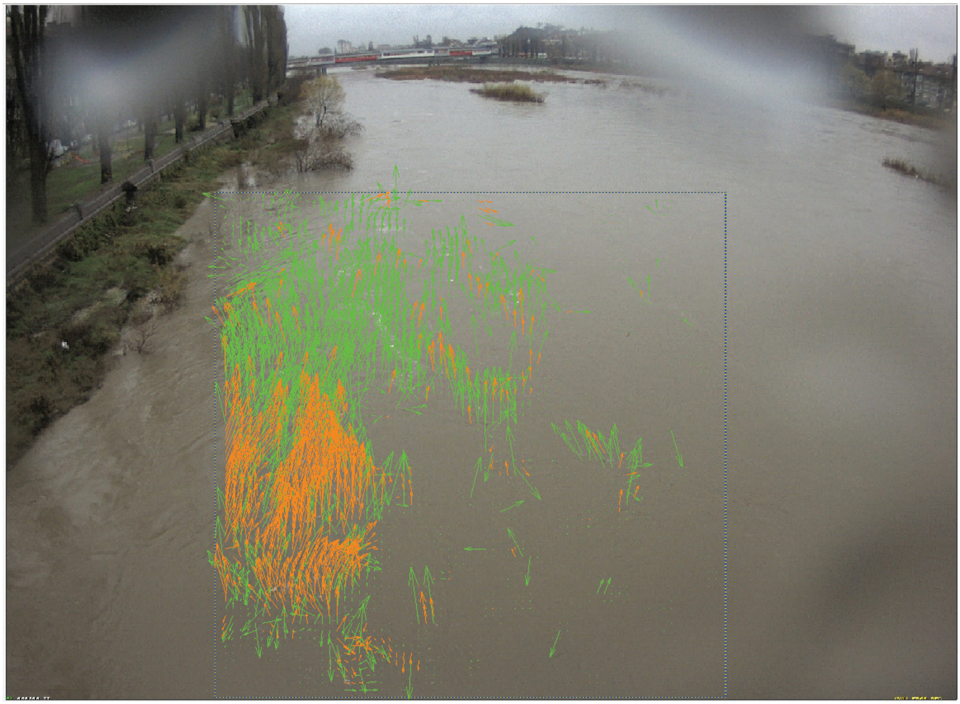
3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Резултати за р. Марица - Пловдив



Фиг. 5. Резултат от изчислението на средна повърхностна скорост в „реалното пространство" със софтуера FudaaLSPIV 1.7.1 за видео-клипа от Фиг. 4. Виждат се точките използвани за орторектификация на картината от №1 до №12.

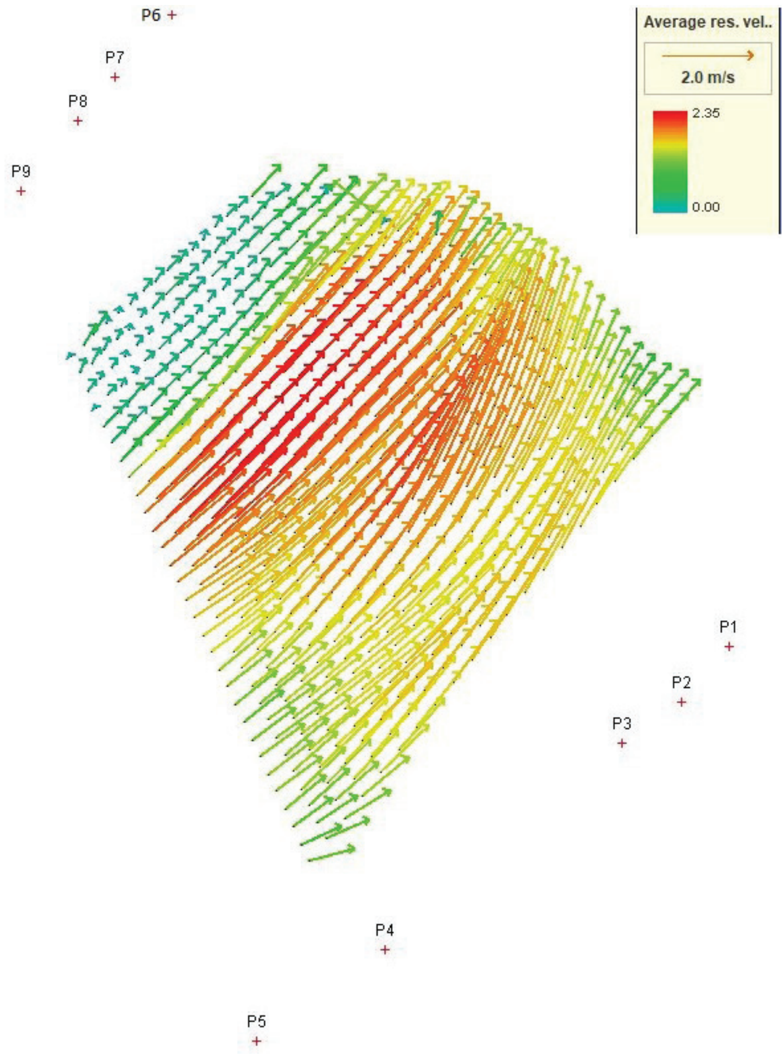
Fig. 5. Average surface velocity results on the "real space" computed with the software FudaaLSPIV 1.7.1 for the video from Fig. 4. Orthorectification points are visible with numbers from 1 to 12.



Фиг. 6. Изчислени средни относителни вектори на повърхностната скорост за клипа от Фиг. 3 със софтуера RIVeR 2.4.2 – PIVlab 2.0. Вижда се, че плаващи маркери са установени предимно в дясната половина на пейзажа, където се движи пяната.

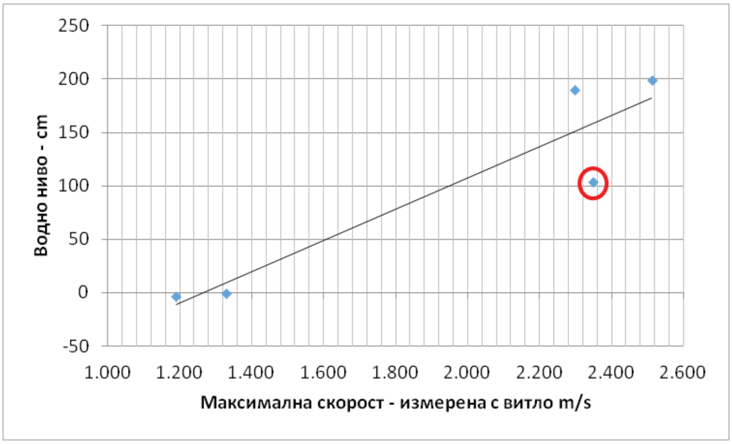
Fig. 6. Average calculated velocity vectors for the video clip from Fig. 3 with RIVeR 2.4.2 - PIVlab 2.0. You can see the float markers are created mainly in the right half of the landscape where the moving foam is.

3.2. Резултати за р. Върбица при сп. Джебел



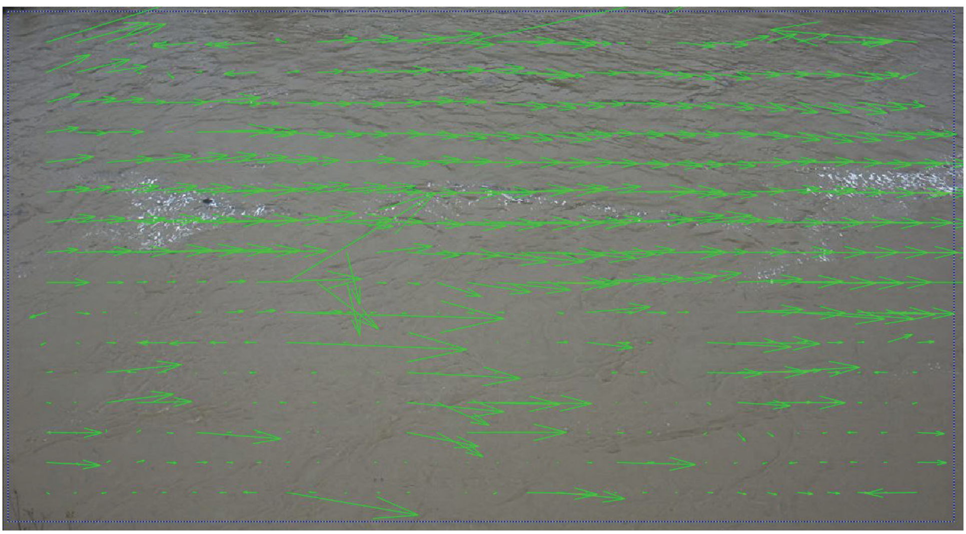
Фиг. 7. Изчислена средна повърхностна скорост с Fudaa LSPIV 1.7.1 за р. Върбица, заедно с референтните точки при ВН=104 cm. Ясно се вижда разликата в скоростите там, където има движение на обекти, в случая пяна и при липсата на такава.

Fig. 7. Calculated average surface velocity with Fudaa LSPIV 1.7.1 for Varbitsa River, shown with the reference points. Water level H=104 cm. One can clearly see the highest velocities where there is moving foam.



Фиг. 8. Сравнение на максималната скорост измерена по метода LSPIV (в червен кръг) с максималните скорости измерени с хидрометрично витло от съпоставими измервания на р. Върбица, сп. Джебел.

Fig.8. Comparison of measured with propeller maximal velocity to the one computed with LSPIV method velocity (in red circle).



Фиг. 9. Изчислени средни относителни вектори на повърхностната скорост за р. Върбица със софтуера RIVeR 2.4.2 – PIVlab 2.0. Вижда се, че плаващи маркери са установени предимно в горната половина на картината, където се движи пяната.

Fig. 9. Average calculated velocity vectors for Varbitsa River with RIVeR 2.4.2 - PIVlab 2.0. One can see the velocity vectors are created mainly where the moving foam is.

4. ДИСКУСИЯ

В хода на работата се установиха редица проблеми в това число произтичащи от използвания обектив, настройката на видеокамерата, свойства специфични за използвания софтуер, липсата на естествени плаващи маркери необходими за протичането на процеса на изчисление на скоростта и дори капацитета за месечен обмен на СИМ картата за данни към съответния оператор.

Фокусното разстояние на обектива определя ъгъла на обхват на картината. При малко фокусно разстояние в кадър влиза по-голяма част от пейзажа пред обектива и обратно. В същото време при малко фокусно разстояние в картината се получават деформации, които орторектификацията не може да преодолее поради наличието на нелинейност в изображението. Такъв е случаят с р. Марица, където се получиха разминавания с преизчислените точки за орторектификация до 2.8 m в хоризонтална посока. Все пак средното отклонение в хоризонтална посока е 1.36 m (Фигура 10).

Verification of the reference points

#	Real X	Real Y	Recalculated...	Recalculated...	Gap
1	-21.450	-39.077	-21.037	-39.005	0.419
2	-20.264	-34.593	-20.430	-34.987	0.428
3	-19.586	-26.612	-19.952	-27.073	0.589
4	-19.098	-4.718	-19.272	-3.496	1.234
5	-18.525	2.918	-18.141	1.482	1.486
6	46.233	19.940	44.333	17.990	2.722
7	39.615	3.739	40.197	3.878	0.599
8	12.826	41.778	12.171	39.122	2.735
9	16.373	27.284	17.274	29.157	2.078
10	9.016	21.229	9.051	22.513	1.285
11	11.139	7.210	12.167	9.801	2.787
12	3.045	-43.208	3.084	-43.175	0.051

Validate

Фиг. 10. В последната колона отдясно е разликата между реалните координати в метри и преизчислените след орторектификация на картината за р. Марица

Fig. 10. In the right column are given the differences between real coordinates and calculated coordinates in m, after orthorectification of the image for Maritsa River

От параметрите на видео-изображението – размер и резолюция, зависи детайлността на картината и оттам възможността ясно да се разграничат от обработващия софтуер плаващите частици и скоростта на придвижване. От друга страна, по-детайлната картина изисква по-големи по размер файлове, които от своя страна изискват по-голям заявен трафик на СИМ картата за данни и повече време за трансфер по безжичната комуникационна мрежа (3G). Накрая това рефлектира в изискване към автономното захранване за покриване на по-голяма електрическа консумация.

Наличието на естествени плаващи маркери е най-важно за процеса на идентификация на повърхностната скорост. При видео-клипове с чиста повърхност и спокойна вода софтуера не може да установи движещи се частици и да извършва изчисленията. От друга страна нашите експерименти показват че при високи води редовно се забелязва движение на пяна и други предмети по повърхността на водата. Все пак те рядко покриват равномерно повърхността на изследваната зона, така че полученият резултат се отнася с по-голяма достоверност за зоната с плаващи „маркери", а не за целия профил (Фигура 9).

При всички случаи след получаване на данните за повърхностната скорост по метода LSPIV те трябва да се сравнят с тези от хидрометричните измервания (Фигура 8) и да се направят съответните изводи. Някой параметри на софтуера LSPIV, например границите на филтриране, имат силно регулиращо действие спрямо амплитудата на получената скорост и следва много внимателно да бъдат определени, така че да има съпоставимост между стандартните измервания с витло и тези по метода LSPIV.

5. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

LSPIV може да бъде допълнителен инструмент за измерване на повърхностната скорост в речни течения. Получените със софтуерните продукти данни за повърхностната скорост са близки до реално измерените с хидрометрично витло. Изисква се задълбочено изучаване на параметрите на програмите за получаване на достоверни резултати.

Методът може да бъде използван при системи за предупреждение от наводнения за определяне на размера и времето на дотичане при разпространение на високи вълни.

Направените експерименти доведоха до изчисление на повърхностната скорост на водата в две речни течения съпоставима с данните от хидрометричните измервания с витло при аналогични водни нива. Макар че измерванията не обхващат профила в неговата цялост те дават представа за максималната скорост, обикновено измервана на повърхността.

Допълнително, наличието на данни за профила на дъното от близки по време хидрометрични измервания, и на преводни коефициенти за изчисление на средната скорост са предпоставка за по-нататъшно изчисление и на водното количество в дадения момент.

В хода на работата по този проект се доказа възможността да се изчисли повърхностната скорост на речното течение в определен момент с приемлива точност, доколкото по повърхността на водата са налични естествено плаващи маркери - пяна, листа, други предмети. Това може да стане дистанционно, без посещение на място, чрез обработка на видео-изображение предавано през безжична интернет комуникация. Тази възможност е описана подробно в литературата и често се използва при липса на хидрометрични измервания.

В практиката на НИМХ тази технология може да допълни наличната хидрометрична информация с данни, които ще позволят повишаване на качеството на хидроложките редици, особено в частта на високите води, където измерванията са по-редки и по-трудни за осъществяване.

Предимства:

- Значително по-евтин спрямо други безконтактни методи за измерване на скорост.
- Може да служи за бързо изчисляване на ВК
- Може да се използва за дистанционно измерване на водно ниво, чрез поставена водочетна рейка в обхвата на камерата
- Системата не се нуждае от постоянна поддръжка
- Лесен монтаж
- Широк диапазон на измерване на повърхностната скорост

Недостатъци:

- Необходимо е в обсега на камерата да има движещи се по повърхността на водата плаващи частици: пяна, турбулентни явления, листа и др.
- Трансфера на данни от видео-изображенията изисква прехвърляне на значителен обем информация.
- Засега не е разработена система за автоматизирана обработка на изображенията така, че прехвърлените данни да се трансформират в реално време към средна скорост на течението и/или водно количество.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статията е реализирана с помощта на национална програма „Млади учени и пост-докторанти “ – модул „Млади учени”, 2018 г.

За осигуряване на видео-заснемането за целите на проекта до 2019 г. са използвани частично средства за материали и командировки благодарение на сътрудничеството между НИМХ и Министерство на Околната Среда и Водите (МОСВ).

Проектът е иницииран с безрезервната подкрепа на проф. д-р Добри Димитров, на когото изразяваме дълбока признателност.

ЛИТЕРАТУРА

Berkovic B. and Shafir E. (2012), Optical methods for distance and displacement measurements, Advances in Optics and Photonics 4, 441–471 (2012) doi:10.1364/AOP.4.000441

Fujita, Ichiro & Muste, Marian & Kruger, Anton. (1998). Large-Scale Particle Image Velocimetry for Flow Analysis in Hydraulic Engineering Applications. Journal of Hydraulic Research - J HYDRAUL RES. 36. 397-414. 10.1080/00221689809498626.

Jeng-Wen L., Chih-Wei H. and Yin-Sung H.(2016) Micro Radar Surface Velocimetry for Hydrologic Signal Processing Using a Bandpass Filtering Approach. MDPI journal Water 2016, 8, 262; doi:10.3390/w8060262

Jodeau, Magali & Hauet, Alexandre & Coz, Jerome & Bercovitz, Yvan & Lebert, Franck. (2017). Laboratory and field lspiv measurements of flow velocities using Fudaa-LSPIV a free user-friendly software. Conference: Hydrosensoft 2017, At Madrid

Le Boursicaud, R.; Pénard, L.; Hauet, A.; Thollet, F.; LeCoz, J. Gauging extreme floods on youtube: Application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges. Hydrol. Process. 2015, 30, 90–105.

Le Coz, J. & Jodeau, Magali & Hauet, Alexandre & Marchand, B. & Boursicaud, R.. (2014). Image-based velocity and discharge measurements in field and laboratory river engineering studies using the free FUDAA-LSPIV software. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, RIVER FLOW 2014. 1961-1967. 10.1201/b17133-262.

MOBOTIX SDK, Software Development Kits, MxPEG C++ Library, https://developer.mobotix.com/

Patalano, Antoine & García, Carlos & Rodriguez, Andres. (2017). Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV). Computers and Geosciences. 109. 323-330. 10.1016/j.cageo.2017.07.009.

Thielicke, W. and Stamhuis, E.J. (2014): PIVlab – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. Journal of Open Research Software 2(1):e30, DOI: http://dx.doi.org/10.5334/jors.bl