

Videó alapú vízhozam-mérés tesztelése kisvízfolyásokra

• KIVONAT

A cikkben bemutatunk egy újszerű vízhozam-mérési módszert, amely a Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) eljárásra épül. A mérési eljárás lényege, hogy videofelvételeket készítünk a vízfolyásról, aminek felszínén jól látható jelzőanyag úszik. Egy képelemző algoritmus segítségével a videók alapján a vízfelszínre jellemző sebességmezőket kapunk, majd azokból egy, a felszínre jellemző átlagsebességét, az úgynevezett index-sebességet. Kalibráló áramlásmérésekkel felállítható az index-sebesség és a vízfolyás vizsgált szelvényére jellemző szelvény-középsebesség kapcsolata, továbbá geodéziai mérésekkel a mindenkori vízszint és a nedvesített szelvényterület kapcsolata. A $Q = A \cdot v$ folytonossági egyenletből (Q : vízhozam, A : nedvesített szelvényterület, v : szelvény-középsebesség) számszerű becslést tehetünk a vízhozamra a videó alapú index-sebesség és a vízszint mérésével. A módszert teszteljük egy szennyvíztisztító telep téglalap szelvényű csatornáján és egy természetes kisvízfolyáson, az Által-ér tatai szakaszán. A mérési eljárás tesztelésén túl kidolgozunk egy, az LSPIV eljárásra alapuló valós idejű, online vízhozam-mérő rendszert.

Kulcsszavak: vízhozam mérése, LSPIV módszer

• ABSTRACT

A novel discharge measurement procedure is presented in this paper, which is based on the Large Scale Particle Image Velocimetry method. The main idea is to record the free-surface, where some sort of tracer is moving, of the stream using video-camera(s). Using a suitable image post-processing tool instantaneous velocity vector fields can be produced, based on which a mean free surface velocity, i.e. the index-velocity can be calculated. Performing calibration measurements the relationship between the index-velocity and the cross-section averaged velocity (v) can be given. Furthermore, the geodetic survey of the analyzed cross-section will provide the relationship between the wetted area (A) and the actual water level. Finally, the $Q = A \cdot v$ continuity equation is used to estimate the flow discharge (Q) based on the video based index-velocity and water level gauging. The method is tested on a rectangular channel of a wastewater treatment plant and on a natural stream (Által-ér at Tata). Besides the testing, an LSPIV based online real-time discharge measurement system is developed.

Keywords: discharge measurement procedure, Large Scale Particle Image Velocimetry method

1. BEVEZETÉS

Kisvízfolyások vízhozamának mérése a hagyományos (pl. forgószárnyas sebességmérés alapú) mérési eljárásokkal (Hajnal és Koris, 2014) sokszor körülményes vagy egyáltalán nem végrehajtható. Túl sekély áramlások esetén például az áramlásmérő eszközök vízbetétele okozhat nehézséget. Árhullámok levonulása során a mérési helyszín megközelítése, a mérési körülmények biztosítása vagy a mérőműszerek rögzítése nehezíti meg a terepi adatgyűjtést. Villámárvizek esetén pedig sokszor egyszerűen túl rövid idő áll rendelkezésre a mérések végrehajtására. Fontos továbbá megemlíteni, hogy a vízállás alapú vízhozam becslés kisvízfolyásokon, különösen nagyvízi állapotok mellett nagy bizonytalansággal terhelt a kalibráló mérések hibája és az áramlás nem-permanens jellege miatt.

Léteznek olyan vízhozam-mérési eljárások, amelyek nem igénylik a mérőműszerek áramlásba való elhelyezését, ezek az ún. közvetett vagy indirekt módszerek, melyek sokszor alkalmasabbak lehetnek a hagyományos, közvetlen módszereknél. Az alábbiakban egy ilyen indirekt, videofel-

vételeken alapuló vízhozam-mérési eljárást mutatunk be (Large-Scale Particle Image Velocimetry – LSPIV), ami egy ígéretes alternatíva lehet a fent említett problémák kiküszöbölésére. A cikkben bemutatjuk az LSPIV eljárás alapjait, majd két esettanulmányon keresztül teszteljük és alkalmazzuk azt áramlási sebesség és vízhozam-mérésre. Kidolgozunk és bemutatunk továbbá egy olyan mérőrendszert, aminek a segítségével valós idejű méréseket tudunk végrehajtani a videók interneten keresztüli továbbításával és azonnali elemzésével.

2. VIDEÓ ALAPÚ VÍZHOZAM-MÉRÉS

A Large-Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) eljárás (Muste et al., 2008) főbb lépései a videó készítés, az ortorektifikáció és a képfeldolgozás (PIV). Az említett lépéseket az 1. ábra mutatja be. A videó készítésénél fontos szempont, hogy lehetőleg magas helyről (pl. hídról, épületről), jól belátható szögben, jó minőségű videót készítsünk a vízfelszínről egy vagy több kamerával. Lényeges továbbá, hogy legyenek jól azonosítható referenciapontok a képen, amelyeknek valós koordinátái ismertek, amiket pl. kiegészítő (akár utólagos) pozíciómérésekkel határozhatunk meg. Mivel a felszíni sebességmezők előállításához alkal-

[•] BSc hallgató, BME Építőmérnöki Kar, Víztechnika szakirány

[•] egyetemi docens, BME, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék



1. ábra: Az LSPIV eljárás legfontosabb elemei

mazott módszer alapja a vízfelszínen mozgó foltok követése, szükséges valamilyen jól beazonosítható, akár mesterséges akár természetes eredetű jelzőanyag, pl. buborékok.

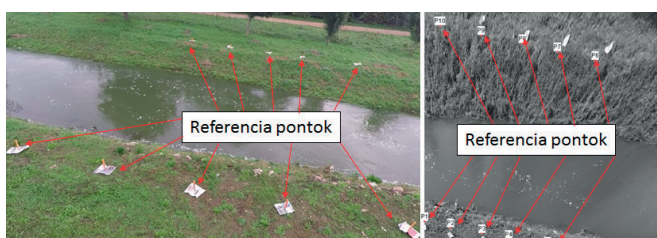
A vízfolyásról készített videó képeit első lépésben áttranszformáljuk egy kétdimenziós torzítatlan derékszögű koordináta rendszerbe, ez a lépés az úgynevezett ortorektifikáció. Egy hagyományos fotogrammetrikus kapcsolat van a referencia pontok valós koordinátái (valódi X, Y, Z) valamint a képi (x, y) koordináták közt. A kapcsolat matematikailag a következő összefüggéssel írható le (Fujita et al., 1998):

$$x = \frac{A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1}$$

$$y = \frac{B_1X + B_2Y + B_3Z + B_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1}$$

ahol x, y – az illesztőpontok koordinátái a kép koordinátarendszerében,
 X, Y, Z – az illesztőpontok koordinátái a valós térben,
 $A_1 \dots C_3$ – transzformációs együtthatók a terepi illesztőpontok felhasználásával.

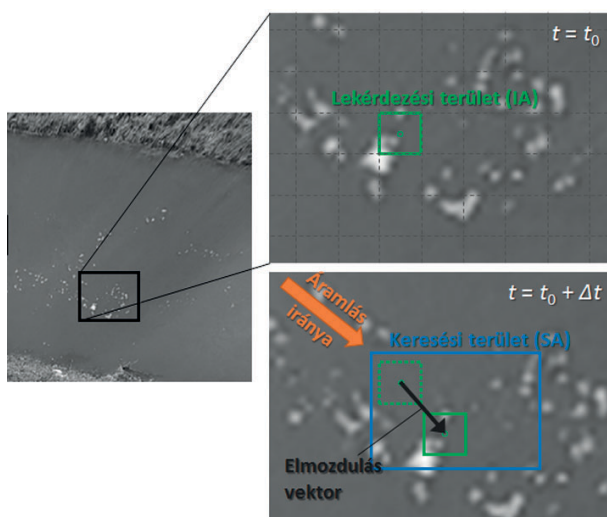
Az ortorektifikáció legalább 6 referencia pontot igényel, melyek lehetnek pl. a helyszínen lévő különböző tereptárgyak (fák, épületek, villanyoszlopok, stb.) (2. ábra)



2. ábra: Referencia pontok az eredeti felvételen és az ortorektifikált képen

A képfeldolgozást (3. ábra) egymást követő képpárokon hajtjuk végre. Az első képen egy ún. lekérdezési területet definiálunk (Interrogation Area – IA), majd azt IA-n belüli mintát keressük a második képen definiált, ún. keresési területen (Searching Area – SA). Egy hasonlósági indexet számítunk minden IA-ra, ami jelen esetben egy kereszt-korrelációs együttható (R). A legnagyobb hasonlósági indexű képpont mutatja meg egy adott folt középpontjának elmozdulását. Az elmozdulás és a két képkocka készítése között eltelt idő ismeretében pedig minden egyes lekérdezési területre egy sebességvektort tudunk előállítani. Ha ezt

az eljárást a teljes képre kiterjesztjük, eredményként egy pillanatnyi sebességvektor-mezőt kapunk.



3. ábra: Az elmozdulás vektort úgy határozzuk meg, hogy az első képkockán kijelölt IA-n belüli mintázattal legjobban megegyezőt keressük meg a második képkockán egy előre definiált SA területen belül (a legmagasabb kereszt-korreláció jellemzi ezt a pontot)

A kereszt-korrelációs együttható számítása az alábbi összefüggéssel történik:

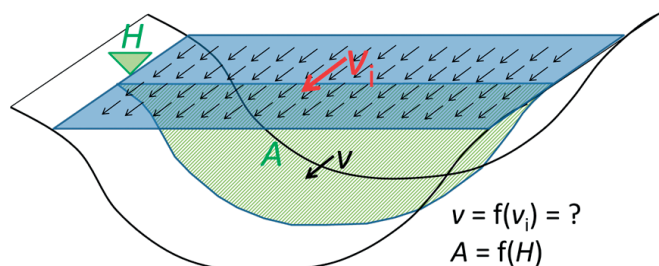
$$R_{ab} = \frac{\sum_{x=1}^{MX} \square \sum_{y=1}^{MY} \{(a_{xy} - \bar{a}_{xy})(b_{xy} - \bar{b}_{xy})\}}{\{\sum_{x=1}^{MX} \square \sum_{y=1}^{MY} (a_{xy} - \bar{a}_{xy})^2 \sum_{x=1}^{MX} \square \sum_{y=1}^{MY} (b_{xy} - \bar{b}_{xy})^2\}^{1/2}}$$

A képletben az MX, MY mátrixok a lekérdezési (IA) és a keresési terület (SA) méretei pixelben, valamint a_{xy} és b_{xy} az egyes képpontok szürkeárnyalatának értéke, amely 0–255-ig terjed egy 8 bites kép esetében.

Ha a teljes videóra elvégezzük az elemzést, vagyis az összes képpárra előállítunk egy-egy pillanatnyi sebességvektor mezőt, azok időbeli átlagolásával a videó készítésének idejére (pl. egy perc) vonatkozó, a vízfolyás felszínére jellemző időátlagolt sebességvektor mezőt kapjuk meg. Mivel a vízfolyások áramlása turbulens, a pillanatnyi sebességvektorok általában nagy szórást mutatnak, de – ahogy azt a következőkben bemutatjuk – néhány tíz másodperces időszakra kiátlagolt vektormező már stabil eloszlást mutat. Az időátlagolt sebességvektorok területi átlagolásával megkapjuk az index-sebességet (v_i), ami tehát egyetlen, a vízfelszín mozgására jellemző sebességvektort jelent.

A vízfolyás vizsgált szelvényen átáramló hozamának meghatározásához azonban a szelvényre jellemző közép-

sebességet (v) szükséges ismernünk, ami nem egyezik meg a vízfelszín sebességével (bizonyos kivételekkel, pl. nagysebességű sekély áramlások). A kapcsolat a két áramlási jellemző között, tehát a $v = f(v_i)$ összefüggés viszont kalibráló mérésekkel, vagy akár elméleti megfontolások alapján felállítható. A vízhozamot a folytonossági egyenletből kapjuk. A képletben megjelenik a nedvesített szelvényterület (A), amely megkapható a szelvénygeometria ismeretében felállított $A = f(H)$ alapján, ahol H a vízszint, vagy akár egy közeli vízmércén mért vízállás. Végeredményként tehát a vízhozam számszerű becsléséhez elegendő lesz az indexsebesség meghatározása (4. ábra) és előzetes vagy utólagos geodéziai mérések mellett a videó készítésének idejére jellemző vízállás ismerete.



4. ábra: Az LSPIV alapú vízhozam-méréshez szükséges jellemzők

3. LSPIV TESZTELÉSE

Két esettanulmányon keresztül vizsgáltuk az LSPIV alapú vízhozam-mérési módszer alkalmazhatóságát (Lükő, 2015). Elsőként a gödöllői szennyvíztisztító-telep egy téglalap szelvényű csatornáján, ahol a csatornarendszerbe épített bukónak köszönhetően volt jelen felszíni hab, mint jelzőanyag. Ennek a vizsgálatnak az elsődleges célja az volt, hogy bemutassuk a becsült vízhozam érzékenységet az eljárásban szereplő különböző paraméterekre. A videofelvételeket egy GoPro akció kamerával (5. ábra) készítettük.



5. ábra: GoPro kamera



6. ábra: A kamera állványra rögzítve

tük, amit egy állványon rögzítettünk közvetlenül a csatorna fölött (6. ábra). A mérés során 19 db 90 másodperces videót készítettünk. A videók mellett kalibráló méréseket is végeztünk akusztikus elvű sebességmérővel (Acoustic Doppler Velocimetry – ADV), hogy a szelvény-középsébség és index-sebesség kapcsolatot megismerjük.

A GoPro kamera ún. halszem torzítással készíti a felvételeket, amelyet a kamera saját szoftverének segítségével eltávolíthatjuk. Az így már torzítatlan videót képkockák so-

rozatává konvertáljuk, ahol a videó eredeti időbeli felbontásához képest ritkíthatjuk is a képek számát. A képsorozat előállításánál célszerű szem előtt tartani, hogy minél magasabb a feldolgozandó képek száma, annál nagyobb a képelemzés számítási igénye. A hatékony számításhoz ezért minél kevesebb kép javasolt, azonban túl kevés kép esetén azzal a problémával szembesülhetünk, hogy a két képkocka között eltelt idő alatt a jelzőanyagok mintázata túlzottan megváltozik, és a képelemző algoritmus nem tudja jól megbecsülni azok elmozdulását. Tapasztalataink alapján a feldolgozáshoz megfelelő képszám szemmel jól közelíthetően megállapítható, két egymást követő kép összehasonlításával. Jelen vizsgálatnál másodpercenként 5 db képpel dolgoztunk. Tesztek azt mutatták, hogy valóban nincs szükség ennél több képre másodpercenként, mivel az nem változtat a kapott sebességmezőn, illetve az eredményként kapott index-sebességen.

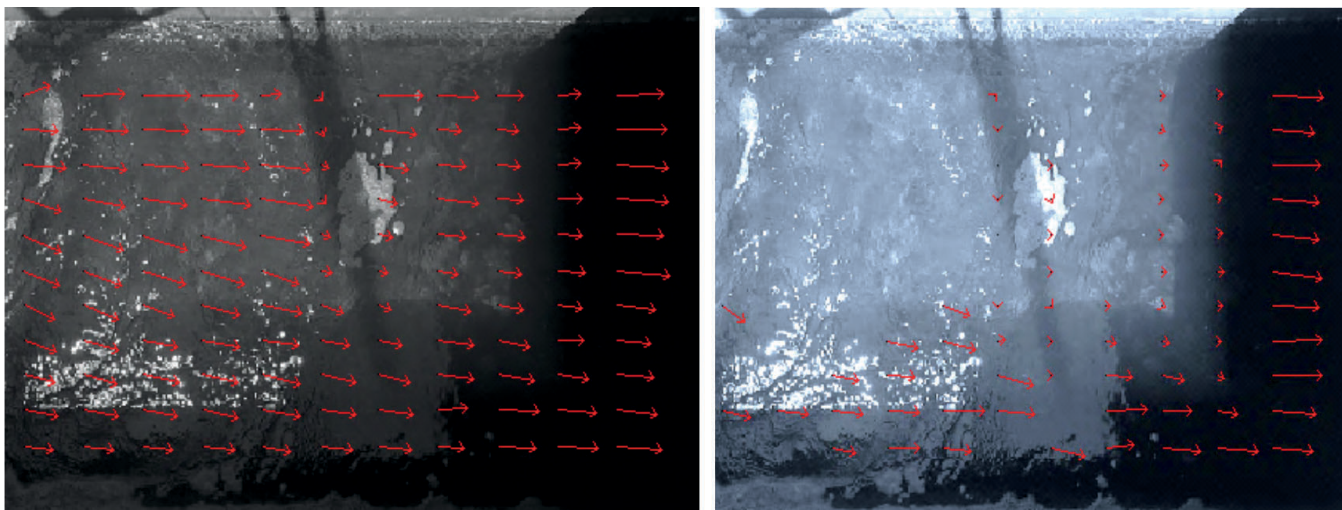
A képfeldolgozást a FUDAA-LSPIV (Jodeau et al., 2013) szoftverrel végeztük. A szoftverben párbeszédablakokon keresztül van lehetőségünk a képelemzést végrehajtani. Az eljárás lépései a következők:

1. Betöltjük a feldolgozandó képsorozatot,
2. Megadjuk a referencia pontok valós földrajzi koordinátáit,
3. Levághatjuk a képek azon részeit, melyek nem tartalmaznak információt az áramlásról, ezzel is csökkentve a számítási igényt,
4. Megadjuk a méréskor jellemző vízszintet,
5. Definiáljuk a kép felbontását (a képpont méretét méterben),
6. Elvégezzük az ortorektifikációt (torzítatlan kétdimenziós képekké transzformáljuk azokat),
7. Megadjuk a lekérdezési (IA) és keresési terület (SA) méreteit és a képkockák közötti időt (Δt) a PIV elemzéshez,
8. Végrehajtjuk a PIV elemzést, aminek eredményeképpen pillanatnyi sebességmezőket, illetve azok teljes mérési időre vett átlagolásával időátlagolt sebességmezőt kapunk,
9. Szűréseket állíthatunk be a kapott sebességvektorok lehetséges nagyságára, valamint a hasonlósági indexre (vagyis a minimális a korrelációs együttható értéke),
10. Az időátlagolt sebességmező vektorainak a csatorna tengelyével párhuzamos komponenseinek felhasználásával (a vízhozam számításnál csak azokat vesszük figyelembe), azok területi átlagolásával kapjuk meg az index-sebességet.

A szennyvíztisztító csatornájában végzett mérések fő céljaként egy paraméter érzékenységvizsgálat végrehajtását tűztük ki. Azt vizsgáltuk, hogy az LSPIV képfeldolgozási eljárásban szereplő paraméterek milyen módon befolyásolják a végeredményként kapott sebességmezőt és az index-sebesség értékét. A vizsgált paraméterek a következők voltak:

- képfelbontás (pixelméret)
- a lekérdezési terület (IA) mérete, pixelszámmal megadva
- a szűrésnél alkalmazott minimális korrelációs együttható (R) értéke
- videó hossza (T)

A képfelbontás vizsgálatánál a pixelméretet 0,002–0,006 m tartományban vettük fel, mert ránézésre így vol-



7. ábra: Ha a szűréshez túl magas minimális korrelációs együtthatót alkalmazunk jó sebességvektorokat is kiszűr a szoftver (bal oldali esetben $R = 0,5$, jobbra $R = 0,9$)

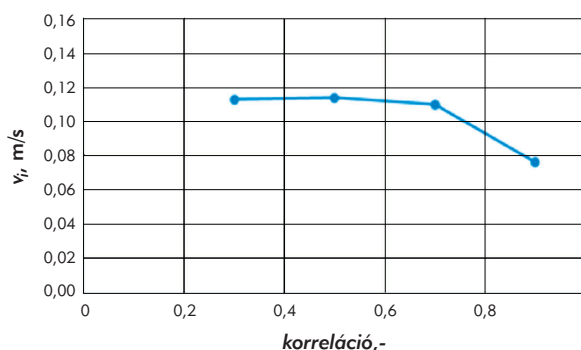
tak még jól értelmezhetőek a képek. A pixelméret változtatása nem okozott jelentős változást, de fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a nagyfelbontású képek feldolgozási ideje jelentősen hosszabb. A lekérdezési terület (IA) méretére vonatkozó vizsgálat alapján (itt 36–72 pixel méreteket vettünk fel) elmondható, hogy a megadott terület mérete meg kell, hogy haladja a tipikus habfolt mintázatok méretét. Ha azonban túl nagy IA méretet választunk, a kép széleinél az eljárás nem fog sebességvektorokat eredményezni, hiszen a vektorok mindig az IA területek középpontjára vonatkoznak. A végeredményként kapott vektorok minimális korrelációs együttható (R) alapú szűrésénél 0,3–0,9 közötti értékeket alkalmaztunk. Az eredmények egyértelműen rámutattak, hogy túl nagy R esetén jó vektorokat is kiszűrhetünk, jelen esetben a napos és árnyékos részek túl nagy árnyalatbeli különbségének köszönhetően jelent meg ez a probléma. Bizonyos mértékű szűrés azonban mindenképp szükséges, hiszen a módszer alapvetően minden egyes IA-hoz rendel sebességvektort, még ha a két vizsgált lekérdezési terület hasonlósága csekély is. (7. ábra)

Megvizsgáltuk a videó hosszának hatását az eredményekre, azonban 30–90 másodperces vizsgált időhosszak esetén nem mutatott változást, így a feldolgozás szempontjából a rövidebbeket preferáljuk. Az érzékenységvizsgálat elvégzése után, az általunk választott beállítások a következők voltak:

- pixel méret = 0,003 m,
- IA = 36 pixel,
- $R = 0,5$,
- a videó hossza $T = 30$ s.

4. KISVÍZFOLYÁS VÍZHOZAMÁNAK LSPIV ALAPÚ MÉRÉSE

Az LSPIV alapú vízhozam-mérés alkalmazásának bemutatására az Által-ér tati szakaszát választottuk. A mérések egyik célja a szelvény-középsébség és index-sebesség (v_i) kapcsolat felállítása volt, továbbá a vízállás-nedvesített szelvényterület összefüggés ($H-A$) bemutatása. Utóbbihoz a vízállásadatok a közeli automata vízmérceinek köszönhetően online rendelkezésünkre álltak. A vízhozam-mérési el-



8. ábra: A kapott index-sebesség értékének érzékenysége a korrelációs együttható értékére (R)

járás expedíciószerű alkalmazása mellett a másik célunk egy valós idejű, online vízhozam-mérő rendszer kialakítása volt. Öt mérési kampányt hajtottunk végre, különböző napokon, különböző vízjárási állapotok mellett. A videofelvételeket első lépésben itt is egy GoPro akciókamerával rögzítettük. A kamerát egy 3 méteres állványon helyeztük el, a vízfolyás bal partjánál. Az ortorektifikáció végrehajtásához 10 referencia pontot létesítettünk, ahogy a 9. ábra mutatja.



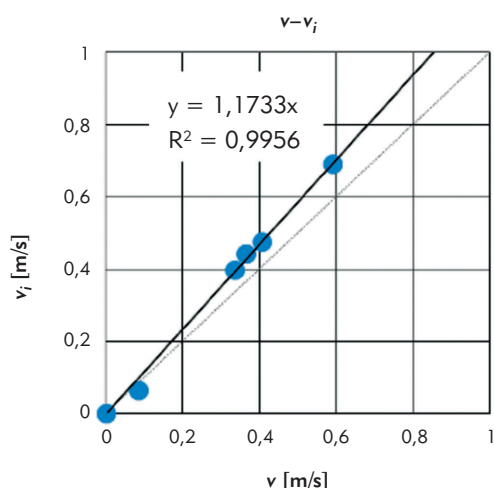
9. ábra: Mérési terület



10. ábra: ADCP mérés

A szelvény-középsébség és a nedvesített szelvényterület adatok előállításához szükséges kalibráló méréseket egy akusztikus elvű áramlásmérő műszerrel (Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP) végeztük a vizsgálatra kijelölt szelvényben (10. ábra). Az ADCP mérések eredményeképpen megkaptuk a méréskor jellemző nedvesített szelvényterületet (A) és a szelvényen átáramló vízhozamot (Q).

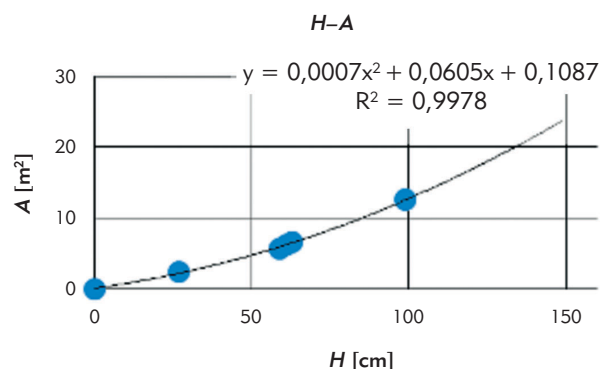
Az előző esettanulmányhoz hasonló módon elvégeztük a paraméter-érzékenységvizsgálatot, amik hasonló eredményeket mutattak. Az öt mérési helyzetre megegyező paraméter beállításokkal futtattuk le a FUDAA-LSPIV szoftvert, aminek eredményeképpen minden mérésre egy-egy index-sebesség értéket kaptunk. Az ADCP mérésekből a mért vízhozam és szelvényterület hányadosaként kaptuk meg a szelvény-középsébség értékeket, így rendelkezés-



11. ábra: Az index-sebesség (v_i) és a szelvény-középsébség (v) közötti kapcsolat

re álltak a kalibráláshoz szükséges értékpárok. A két paraméter közötti kapcsolatot egy lineáris összefüggéssel írhatjuk le, ami a vártnak megfelelően erős az öt pont alapján (11. ábra). Megjegyezzük, hogy a turbulens áramlásokra jellemző logaritmikus függély menti sebességeloszlás szerint a vízfelszín sebessége nagyobb kell, hogy legyen, mint az átlagsebesség, amelyet a kalibrálás során kapott összefüggés igazol.

A korábban leírtak szerint a vízhozam ($Q = A \cdot v$) meghatározásához tehát szükség van a nedvesített szelvényterületre (A) is, amelyet jelen esetben az ADCP mérések szolgáltatnak az öt mérési állapotra. A mérés kori (közeli vízmércére jellemző) vízállás adatok alapján felállítottuk a szelvényterület-vízállás kapcsolatot (12. ábra), melyre egy másodfokú polinom illeszkedik. A magas regressziós együttható szintén erős kapcsolatot jelez.



12. ábra: A vízállás (H) és nedvesített szelvényterület (A) közötti kapcsolat

A két meghatározott összefüggést összekapcsolva, a vízhozamot a következő képlettel adhatjuk meg ismert index-sebesség és vízállás alapján:

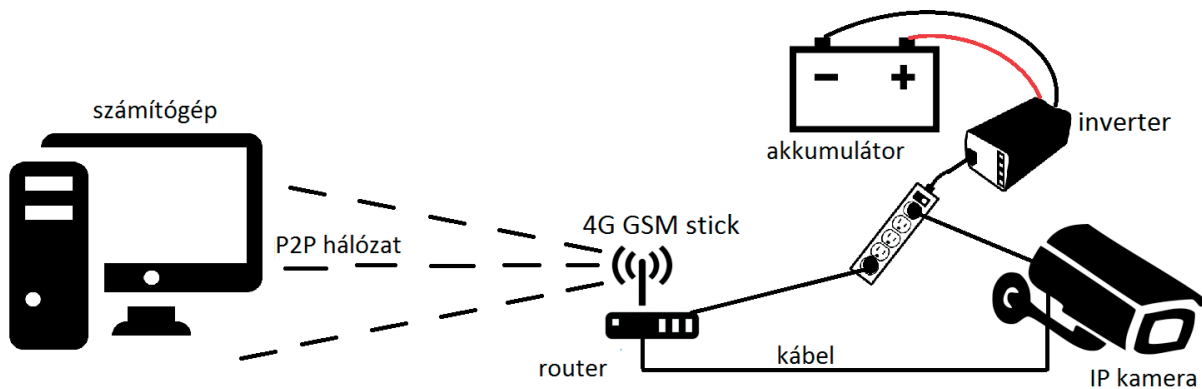
$$Q = A \cdot v = (0,0007H^{12} + 0,0605H + 0,1087) \cdot (1/(1,1733 \cdot v_i))$$

Tekintve, hogy a vízfolyás mindenkor vízállás adatai online elérhetők az illetékes vízügyi főigazgatóság honlapján, a vízhozam becsléséhez elegendő a videók alapján számítható index-sebesség meghatározása.

Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy jelen vizsgálatokat a vízfolyás középvízi medrében hajtottuk végre, mivel a mérési időszakban nem vonult le árhullám az Által-éren. A fenti összefüggések így egyelőre a telt medrű állapotig érvényesek, nagyvízi viszonyok mellett pedig újabb kalibráló mérések szükségesek az összefüggések érvényességi tartományának kiterjesztéséhez.

5. VALÓS IDEJŰ VÍZHOZAM-MÉRŐ RENDSZER KIALAKÍTÁSA

Az LSPIV alapú vízhozam-mérés megvalósíthatóságát az előzőekben igazoltuk, bár egyelőre csak a videók utólagos elemzésével tudtuk az eljárást alkalmazni, aminek két oka is van: Egyrészt, a FUDAA-LSPIV szoftver jól alkalmazható a képfeldolgozásra, valamint érzékenységteszt vizsgálatok végrehajtásához, azonban a videók automatikus elemzése a



13. ábra: Az online mérőrendszer felépítése.



14. ábra:
Foscam IP camera

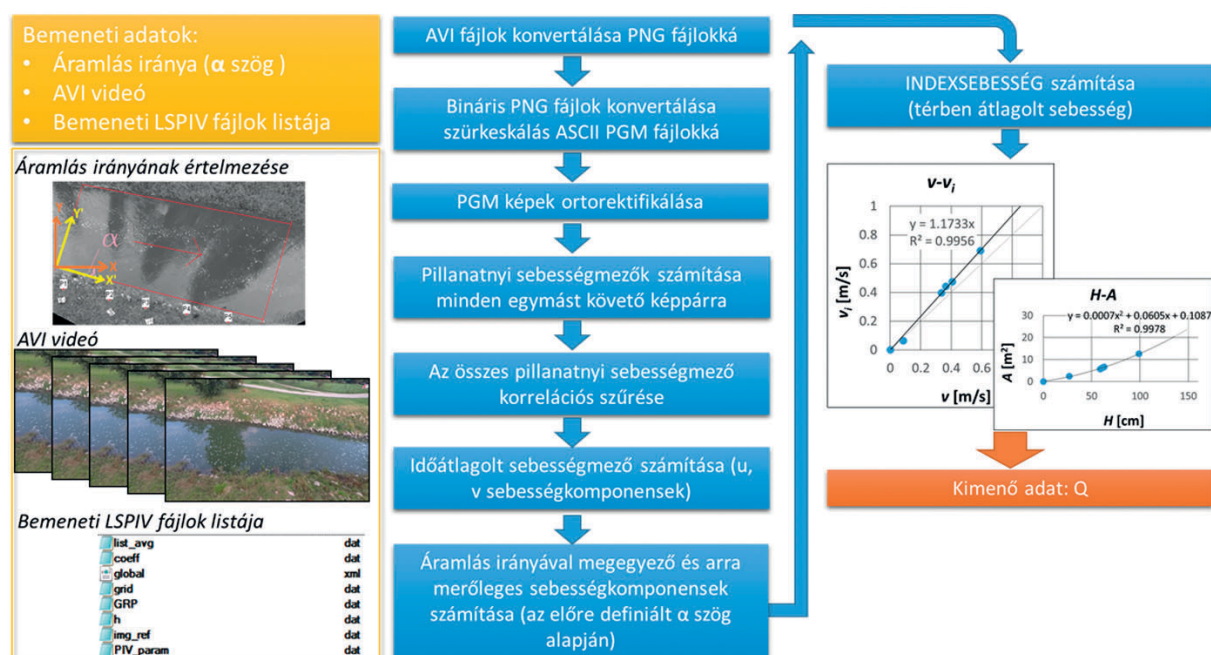
számos manuális beállítás miatt nem megvalósítható. További nehézséget jelentett, hogy a program képsorozatok elemzését hajtja végre, így a nyers videófájlokat elő kellett készíteni a feldolgozáshoz (képekké konvertálás, képek számának ritkítása, szűrkeskálába való konvertálás). Másrészt, a videók csak a kameráról a számítógépre való lementés után álltak rendelkezésre, így a valós-idejű feldolgozás nem volt lehetséges.

A következő lépésben ezért az Által-ér vizsgált szelvényénél kísérletet tettünk egy valós idejű, online vízhozam-mérőrendszer kialakítására, amelynek a legnagyobb előnye, hogy nem szükséges a méréshez a helyszínen tartóz-

kodni. A rendszer felépítését a 13. ábra mutatja be. A rendszer egyik alapvető eleme egy, a helyszínen telepített IP kamera (14. ábra), amivel – a megfelelő körülmények biztosítása esetén (áramellátás, internet) – a videofelvételek távolról online készíthetők. Esetünkben egy FOSCAM típusú IP kamerát használtunk erre a célra, amelynek a látószöge és a felbontása megfelelőnek mutatkozott a vizsgálatainkhoz. Az internet kapcsolatot a mobilhálózaton keresztül alakítottuk ki. A kamera saját (szabadon elérhető) szoftverével lehetőség van a felvételt valós időben nézni és egy távoli számítógépre menteni.

A rendszer másik fontos eleme egy olyan program, amely lehetővé teszi a videók automatikus feldolgozását előre definiált paraméter beállítások mellett és végeredményként a vízhozamot adja meg. Ennek megvalósítására C++ nyelven készítettünk egy keretprogramot (LSPIVFR.EXE), amely a korábbiakban alkalmazott FUDAA-LSPIV szoftver egyes moduljait (melyek külön futtatható állományként is rendelkezésre állnak) összefűzi. A program felépítését a 15. ábra ismerteti.

A keretprogramnak a következő bemeneti adatokra van szüksége:



15. ábra: A program felépítése

- a feldolgozandó AVI videóra,
- az LSPIV eljárásához szükséges bementi fájlok listájára,
- a főáramlás irányát (a képeken értelmezve) megadott hajlásszögre.

Az LSPIV fájlok tartalmazzák a transzformáció és a képfeldolgozáshoz szükséges előre megválasztott paramétereket. A fájlok rendelkezésre állása esetén a program parancssorból indítható. A program a cikk 3. pontjában ismertetett műveletsorozatot automatizálja úgy, hogy kiegészíti azokat egy előkészítő (pre-processing) és utófeldolgozó (post-processing) lépéssel. Az előkészítő lépésben a videófájlt az LSPIV feldolgozáshoz alkalmas képekké konvertálja az előre megadott időfelbontással. Az utófeldolgozó lépésben a kalibrációs összefüggések alapján meghatározza a vízhozamot. A műveletsort ezzel a két lépéssel kiegészítve és az egészet automatizálva a vízhozam becslése valós időben egyetlen kattintással történhet, amint a videó fájl beérkezett a megfelelő mappába.

6. ÖSSZEFOGLALÁS, KITEKINTÉS

A cikkben bemutatunk a videofelvételek alapján elvégezhető vízhozam becslési eljárás elméleti alapjait, tesztelését és első hazai alkalmazását két esettanulmányon keresztül. Paraméter-érzékenységvizsgálatok végrehajtásával igazoltuk, hogy az LSPIV módszer stabilan működik megfelelő felszíni jelzőanyag jelenléte esetén. Kalibráló mérésekkel erős kapcsolatot állítottunk fel a szelvény-középsébség és a vízfelszínre jellemző index-sebesség között, ezzel is megbízhatóbbá téve a vízhozam becslését.

Kidolgoztunk egy eljárást a vízhozam-mérés automatizálására, aminek egyik fő eleme a terepen kihelyezett IP kamera, a másik fő eleme pedig egy olyan program, ami a képfeldolgozást teljesen automatikussá teszi a videó beadásától a vízhozam számításig.

Az LSPIV alapú eljárás itt bemutatott tesztelése és automatizálása alapján kijelenthető, hogy a módszer jól alkalmazható, és a hazai kisvízfolyások felméréseinek gyakorlatába átültethető, amennyiben a mérőrendszerhez szükséges infrastruktúra biztosítható (pl. áramellátás, internet, felszíni jelzőanyag). A módszer költséghatékony, automatizálható és bizonyos esetekben az egyetlen alkalmazható eljárás, pl. intenzív árvizek levonulásának vizsgálatánál vagy éppen nagyon sekély áramlások esetében. Az LSPIV módszerrel kapott kétdimenziós sebességadatok a vízhozamok meghatározásán túl alkalmasak vízfolyások áramlástan vizsgálatára is, például a főmeder-hullámtér kapcsolatának leírására, növényzeti ellenállás vizsgálatára, élőhely viszonyok jellemzésére vagy morfordinamikai vizsgálatokra. A vízfolyások áramlási viszonyainak elemzésén túl a módszert a közelmúltban hazai kutatók közreműködésével sikeresen alkalmazták már pl. a megtörő hullámok sebességének mérésére is (Fleit et al., 2016), a mederfenéken

mozgó dűnék alapján a görgetett hordalékhozam meghatározására is (Muste et al., 2016), vagy a jégtáblák elmozdulásának mérésére is (Kerék, 2015).

A vízhozam-mérés eljárás továbbfejlesztésére több lehetséges irány is felmerül. A külföldi szakirodalomban történtek próbálkozások az online videómegosztókon (pl. YouTube) elérhető amatőr videók felhasználásával villámárvizek vízhozamának becslésére (Le Coz et al., 2014). Ebben az esetben a referencia pontok pl. a Google Maps-ből importálhatók. A szelvénygeometria meghatározása ilyenkor utólagos felméréssel történik, ami kölcsönözhet bizonytalanságot az eredményeknek, azonban az LSPIV szempontjából megfelelő minőségű videó esetén elfogadható. Egy másik lehetőség a módszer továbbfejlesztésére, hogy a kamerát távirányítású drónra rögzítjük (pl. Tauro et al., 2015). Ez az eljárás különösen felértékelődik olyan esetekben, amikor a vízfolyás egyáltalán nem megközelíthető és a műszerek vízfolyás közeli telepítése lehetetlen. A drón alapú áramlásmérés hazai tesztelését és különböző alkalmazási területeinek vizsgálatát tűzték ki jelen cikk szerzői is rövid távú célként. A kisvízfolyások vízhozamának meghatározása mellett célirányos mérések végrehajtásával megkíséréljük folyók felszíni áramlási struktúráinak feltárását is, így az LSPIV módszer a közvetlen gyakorlati hasznosulás mellett olyan kutatási témához is kapcsolható, mint pl. az áramlások kaotikus viselkedésének számszerűsítése.

HIVATKOZÁSOK

- Fleit, G., Baranya, S., Rüther, N., Bihs, H., Krámer, T., Józsa J.: Investigation of the Effects of Ship Induced Waves on the Littoral Zone with Field Measurements and CFD Modeling. *WATER* 8 (300), 2016.
- Fujita, I.; Muste, M.; Kruger, A. Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic applications, *Journal of Hydraulic Research*, 36(3), 397–414., 1998.
- Hajnal, G., Koris, K.: Hidrológia I. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2014.
- Jodeau, M.; Hauet, A.; Le Coz, J. Fudaa-LSPIV 1.3.2 User guide. EDF R&D, EDF DTG, Irstea, 2013.
- Kerék, G.: Videó alapú vízhozammérések alkalmazhatósága kisvízfolyásokon. Szakdolgozat. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Budapest, 2015.
- Le Coz, J., Thollet, F., Hauet, A., Pénard, L., Le Boursicaud, R.: Gauging extreme floods on Youtube: application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges, *Hydrological Processes*, 2015.
- Lükő G.: Analysis of video-based discharge measurement method for streams. Tudományos Diákköri dolgozat. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Budapest, 2015.
- Muste, M., Fujita, I., Hauet, A.: Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. *Water Resources Research*. Vol. 44, 2008.
- Muste, M., Baranya, S., Tsubaki, R., D. Kim, Ho, H., Tsai, H., Law, D.: Acoustic mapping velocimetry, *Water Resources Research*, Vol. 52, 4132–4150, 2016.
- Tauro, F., Pegano, C., Phamduy, P., Grimaldi, S., Porfiri, M.: Large-Scale Particle Image Velocimetry from an Unmanned Aerial Vehicle, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2015.

MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET (2016/6. szám)

A TARTALOMBÓL

Dr. Buday Tamás: Építményalapok hasznosíthatósága a földhő kinyerésében és a hőraktározásban

Dr. Garbai László – Dr. Kontra Jenő – Jasper Andor: Egy tervezett geotermális hőellátás Zalaegerszegen

Vörös Szilárd: Hibadiagnosztika dinamikus beszabályozó szelepekkel

Megjelent 2016. június végén

Révai Mária – Lászlófi András: Középpontban az ipari padlófűtés

Helmecci Árpád: Korszerű melegvíz előállítás HAJDU hőszivattyús forróvíztárolóval

Dr. Szánthó Zoltán: Épületgépész Szakmai Nap a BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszékén

• Szakmai hírek

• További információ: www.epgeponline.hu