ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 101 - 107

MOŽNOSTI APLIKÁCIE PRÍSTROJA FLOW TRACKER PRI MERANIACH CHARAKTERISTÍK PRÚDENIA

Radoslav Schügerl, Yvetta Velísková, Renáta Dulovičová

Príspevok opisuje možnosti využitia prístroja Flow Tracker na meranie prietoku ako i zložiek rýchlosti v prúdiacej vode. Prístroj je schopný merať v dvoch módoch. Jeden sa nazýva „Discharge Mode“ a primárne je určený na stanovenie prietoku v meranom priečnom profile, prípadne na rozdelenie priemernej zvislicovej rýchlosti. Druhý „General Mode“ umožňuje zmerať zložky bodových rýchlostí v ľubovolne zvolenej mriežke meracích bodov. Príspevok opisuje základné atribúty obidvoch spôsobov merania, ako i výsledky ich praktických aplikácií.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: Dopplerov princíp, meranie prietoku, rýchlostný profil, zložky bodových rýchlostí

FLOW TRACKER DEVICE APPLICATION POSSIBILITIES FOR DETERMINATION OF FLOW CHARACTERISTICS. Paper describes application possibilities of Flow Tracker device, which is suitable for discharge measurement in a stream, but also for determination of velocity components in flowing water. The device works at two modes. One of them is so called „Discharge Mode“ and it is used for discharge determination in measured cross-section profiles, or for determination of distribution of average velocities in verticals. The second one is so called „General Mode“ which allows to measure velocity components in any measured point grid. This paper deals with basic attributes of both modes, as well as result of their practical application. For measurement was used the three-dimensional probe of Flow Tracker device. (SonTek / YSI). Practical applications were performed in laboratory and also in field conditions.

KEY WORDS: discharge measurement, Doppler principle, flow velocity profile, velocity components

Úvod

V predloženom príspevku je stručne popísaný spôsob použitia ADV sondy digitálneho prístroja Flow Tracker. Prístroj nám umožňuje jednak hydrometrovanie na vodnom toku, zistenie prietoku a priemernej rýchlosti prúdenia v danom profile a taktiež meranie rýchlostného profilu, ale i zložiek bodových rýchlostí. Skúšobné merania na zistenie prietoku prebiehali na vodnom toku Malá Nitra v intraviláne obce Veľký Kýr. Detailné merania rýchlostných profilov a zložiek rýchlostí boli realizované v laboratórnom žľabe na Ústave pro hydrodanymiku AV ČR Praha. V príspevku je uvedený opis terénnych aj laboratórnych meraní s uvedením niektorých príkladov.

Opis prístroja

Digitálny prístroj (obr. 1) na ručné meranie prietoku na vodných tokoch – FlowTracker od firmy SONTEK, meria rýchlosť na princípe akustického dopplerovského odrazu (SonTek, 2009). Charakteristikami prúdenia vodných tokov na základe akustického dopplerovského odrazu sa zaoberali rôzni autori (Fernandes et al., 2010; Morlock et al., 2002; Takashi et al., 2004; Takeda 1995; Vermeyen, 2004).

Namiesto klasického spôsobu, kde je na sútyčí upevnená vrtuľka, v tomto prípade je na sútyčí upevnená 2D alebo 3D sonda (obr. 2). Sonda prístroja obsahuje vysielač, prijímače a teplotný senzor. Prístroj Flow Tracker sa ďalej skladá z kábla, na ktorom je sonda upevnená, ručného ovládača, na ktorom sa nachádza klávesnica a LCD monitor. K prístroju patrí aj externý napájací konektor, ktorý slúži na sťahovanie dát do počítača. Všetky dáta sú počas merania uložené

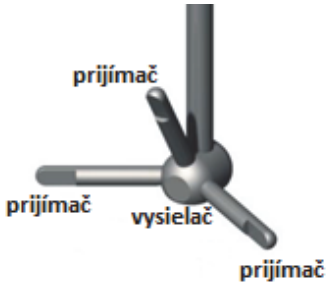
v prístroji, neskôr môžu byť stiahnuté do PC pre ďalšie spracovanie, zobrazenie a archiváciu.
Prístroj Flow Tracker, pracujúci na princípe ADV metódy, má dva základné operačné režimy: „discharge mode“ a „general mode“. Prvý z nich, ako už vyplýva z jeho názvu, je určený na meranie prietoku v toku. V druhom režime prístroj meria a zaznamenáva všetky tri zložky rýchlosti v ľubovolne rozmiestnených bodoch v pozdĺžnom aj priečnom smere meraného úseku toku, prípadne v okolí prekážky v prúdiacej kvapaline.

Meranie prietoku (Discharge mode operation)

Meranie prietoku vo vodných tokoch patrí k najzákladnejším terénnym meraniam. Prístroj Flow Tracker nahrádza klasický spôsob hydrometrovania krídlom – vrtuľkou. Výpočet prietoku opisujú normy STN EN ISO 748 (2008) a STN ISO 9196 (2001). Prístroj Flow Tracker používa na výpočet prietoku tri metódy „stredovú“ (mid-section), „priemerovú“ (mean-section) a tzv. japonskú metódu.
Stredová (mid-section) metóda je založená na princípe, že ku každému stanovisku je počítaný obsah plochy a priradená rýchlosť. Priemerová (mean-section) metóda je naopak založená na spriemerovaní vždy po sebe nasledujúcich priemerných zvislicových rýchlostí. Japonskou metóda sa vo všeobecnosti na území Slovenska nevyužíva.
V našom prípade sme využívali stredovú (mid-section) metódu (obr. 3). Merania sa uskutocnili na vodnom toku Malá Nitra v intraviláne obce Veľký Kýr po vyhodnotení viacerých alternatív. Koryto vodného toku bolo v minulosti upravené na dvojitý lichobežníkový prietokový profil so šírkou dna b = 4,00 m, hĺbkou h = 1,30 m pre návrhový prietok Qnav = 55 $m^3.s^{-1}$, so sklonom svahov 1:2, šírkou beriem 1,00 m, a pozdĺžnym sklonom vodného toku i = 0,00149 = 1,49 ‰. Svahy kynety boli opevnené betónovými dlaždicami 500/500/100 mm a opevnené na šírku jednej dlažobnej kocky boli aj bermy (Pecháčová et al., 2012).



Obr. 1. Prístroj Flow Tracker.
Fig. 1. Flow Tracker gear.



Obr. 2. 3D ADV sonda.
Fig. 2. 3D ADV probe.



Obr. 3. Meranie s prístrojom FlowTracker.
Fig. 3. Measurement by FlowTracker gear.

Rýchlosť prúdenia ako i prietok sme merali vo viacerých profiloch, a to na rovnom i zakrivenom úseku vodného toku. V každom meranom profile sa zvislicová rýchlosť zmerala v 50 centimetrových vzdialenostiach. V závislosti od hĺbky vodného toku sa zvolila 1-bodová, 2-bodová, resp. 3-bodová metóda merania.

Záznam vyhodnotenia jedného z meraných profilov na vodnom toku Malá Nitra prístrojom Flow Tracker je na obr. 4. Záznam z merania poskytuje opisné údaje meraného profilu, dátum merania, použitú metódu merania (mid-section), šírku (m) vodného toku, maximálnu a priemernú hĺbku (m) vodného toku, prietočnú plochu profilu (m^2), priemernú teplotu (°C), počet zvislíc, v ktorých sa merali rýchlosti a počet bodov na zvisliciach (1-bodová, 2-bodová a 3-bodová metóda). V neposlednom rade sú to zaznamenané rýchlosti (m/s) v jednotlivých bodoch na zvisliciach, priemerná rýchlosť prúdenia (m/s) a prietok (m^3).

Discharge Measurement Summary

Date Generated: Fri Jul 31 2015

File Information

File Name	KYR0307.WAD
Start Date and Time	2012/07/04 12:27:22

Site Details

Site Name	MOST 1
Operator(s)	RADO

System Information

Sensor Type	FlowTracker
Serial #	P3348
CPU Firmware Version	3.7
Software Ver	2.30
Mounting Correction	0.0%

Units (Metric Units)

Distance	m
Velocity	m/s
Area	m^2
Discharge	m^3/s

Discharge Uncertainty

Category	ISO	Stats
Accuracy	1.0%	1.0%
Depth	0.5%	2.8%
Velocity	0.9%	5.1%
Width	0.2%	0.2%
Method	1.7%	-
# Stations	4.2%	-
Overall	4.8%	5.9%

Summary

Averaging Int.	30	# Stations	12
Start Edge	REW	Total Width	5.230
Mean SNR	35.9 dB	Total Area	1.059
Mean Temp	28.83 °C	Mean Depth	0.202
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	0.1628
		Total Discharge	**0.1724**

Measurement Results

St	Clock	Loc	Method	Depth	%Dep	MeasD	Vel	CorrFact	MeanV	Area	Flow	%Q
0	12:27	0.00	None	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0
1	12:27	0.50	0.6	0.120	0.6	0.048	0.0794	1.00	0.0794	0.060	0.0048	2.8
2	12:34	1.00	0.6	0.150	0.6	0.060	0.1116	1.00	0.1116	0.075	0.0084	4.9
3	12:37	1.50	0.6	0.190	0.6	0.076	0.1147	1.00	0.1147	0.095	0.0109	6.3
4	12:39	2.00	0.6	0.230	0.6	0.092	0.1648	1.00	0.1648	0.115	0.0190	11.0
5	12:41	2.50	0.2/0.8	0.260	0.2	0.208	0.2266	1.00	0.1753	0.130	0.0228	13.2
5	12:43	2.50	0.2/0.8	0.260	0.8	0.052	0.1241					
6	12:46	3.00	0.8/0.2	0.270	0.2	0.216	0.2991	1.00	0.2454	0.135	0.0331	19.2
6	12:44	3.00	0.8/0.2	0.270	0.8	0.054	0.1917					
7	12:48	3.50	0.2/0.6/0.8	0.330	0.2	0.264	0.2927	1.00	0.2219	0.165	0.0366	21.2
7	12:49	3.50	0.2/0.6/0.8	0.330	0.6	0.132	0.2303					
7	12:51	3.50	0.2/0.6/0.8	0.330	0.8	0.066	0.1342					
8	12:53	4.00	0.2/0.8	0.270	0.2	0.216	0.2315	1.00	0.1658	0.135	0.0224	13.0
8	12:54	4.00	0.2/0.8	0.270	0.8	0.054	0.1002					
9	12:56	4.50	0.6	0.210	0.6	0.084	0.1364	1.00	0.1364	0.105	0.0143	8.3
10	12:59	5.00	0.6	0.120	0.6	0.048	0.0043	1.00	0.0043	0.044	0.0002	0.1
11	12:59	5.23	None	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Obr. 4. Časť záznamu merania prietoku a rýchlostí vodného toku prístrojom FlowTracker.
Fig. 4. Recording part of discharge and velocity of streamflow by FlowTracker gear.

Meranie rýchlostného profilu (General mode operation)

Na meranie prúdových charakteristík – rýchlostných profilov sa používa celá rada experimentálnych metód, ktoré majú svoje využitie vo veľkej miere hlavne v laboratórnych podmienkach. Jednou z týchto experimentálnych metód je aj metóda ADV, ktorou sa zaoberali rôzni autori (Chára, Matoušek, 2010; Peltier, 2013; Rehmel, 2007). V prevedení prístroja Flow Tracker je vhodná aj pre terénne podmienky. ADV sonda prístroja Flow Tracker umožňuje teda merať rýchlostné profily aj v laboratórnych podmienkach. Princíp tejto metódy spočíva v tom, že ultrazvukový impulz s danou frekvenciou je vysielaný vysielačom do určitej vzdialenosti. V dôsledku odrazu od pohybujúcich sa častíc je frekvencia impulzu zmenená a následne snímaná prijímačmi. Zmena frekvencie potom indikuje zmenu rýchlosti v meranom bode / objeme. Geometria sondy je tvorená dvoma prijímačmi, tvoriacimi jednu rovinu a tretím umiestneným nad touto rovinou.

Pilotné merania prebiehali v laboratórnom žľabe Ústavu pro hydrodynamiku AVČR s obdĺžnikovým priečnym prierezom. Šírka žľabu bola 0,4 m, dĺžka približne 25 m. Počas merania bola udržiavaná výška hladiny 0,24 m (kolísanie od 0,23 do 0,25 m) a prietok na hodnote 38 l/s. Ilustračná schéma laboratórneho žľabu je na obrázku č. 5. Konštrukcia laboratórneho žľabu umožňuje aj aplikáciu určitého náklonu, avšak my sme pri meraniach používali horizontálne nastavenie žľabu.

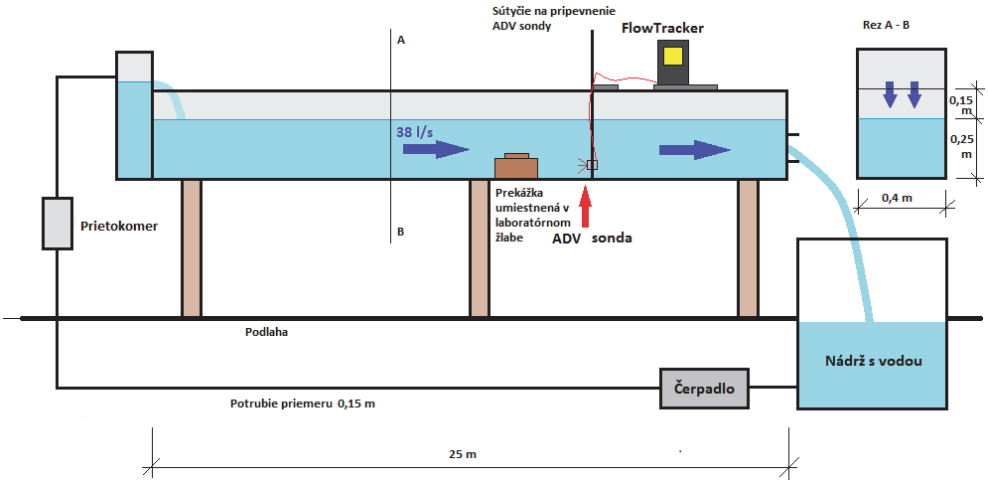
Meranie sa prvotne vykonávalo v profile, v ktorom prúdenie nebolo ničím narušené. V druhotnej fáze sme do laboratórneho žľabu umiestnili drevenú prekážku, ktorá menila zložky rýchlostí prúdenia v horizontálnom aj vertikálnom smere. Rýchlostné zložky sa merali v jednom profile bez prekážky a následne v dvoch profiloch za umiestnenou drevenou prekážkou. Rýchlosti boli merané v zvisliciach vo vzdialenostiach 0,07; 0,1; 0,13; 0,16; 0,19; 0,22 m od pravej strany steny žľabu. Vo všetkých zvisliciach boli v určitých bodoch merané rýchlostné zložky v_x, v_y, v_z. Výška bodov na zvisliciach bola 0,04; 0,08; 0,1; 0,12; 0,14; 0,16 a 0,18 m odo dna laboratórneho žľabu. Rozmiestnenie zvislíc a meraných bodov na zvisliciach bolo totožné v profile bez umiestnenej prekážky, ako aj v profile za umiestnenou prekážkou. Na obrázku č. 6 je vidieť schematický náčrt prekážky v žľabe, ako aj rozmiestnenie meraných bodov rýchlostných zložiek v profile za umiestnenou prekážkou (červená farba meraných bodov).

Čas merania v jednotlivých bodoch bol najprv stanovený na 900 sekúnd (pre profil bez prekážky). Následne po preukázaní stability sondy počas merania sme pristúpili k skráteniu dĺžky merania v jednotlivých bodoch na 300 sekúnd pre profily za umiestnenou prekážkou.

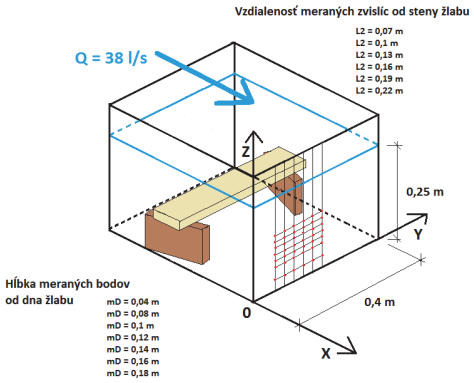
Na obrázkoch 7 až 9 vidieť rýchlostnú zložku v_x v profile bez prekážky a v oboch profiloch za prekážkou. Os v_y charakterizuje dno laboratórneho žľabu, os v_z stenu žľabu a v_x smer prúdenia v laboratórnom žľabe. V profile bez prekážky (obr. 7) je vidieť takmer rovnomerné rozloženie rýchlostí v meraných bodoch. Menšie rýchlosti sú zaznamenané pri dne žľabu a pri najbližšej zvislici od steny žľabu v dôsledku trenia. Takisto pri povrchu nameraná rýchlosť zložiek v klesá.

Na obrázku 8 je vidieť hodnoty rýchlostnej zložky v_x v prvom profile za prekážkou v jednotlivých meraných bodoch. V bode 0,04 m nad dnom žľabu v najbližšej zvislici od steny žľabu (0,07 m) je zaznamenaná záporná rýchlosť zložky v_x. Je to dôsledok vplyvu zvislej časti prekážky, kde vznikal vír v bezprostrednej vzdialenosti za prekážkou. Z priebehu hodnôt zložky rýchlosti v_x je evidentný vplyv prekážky.

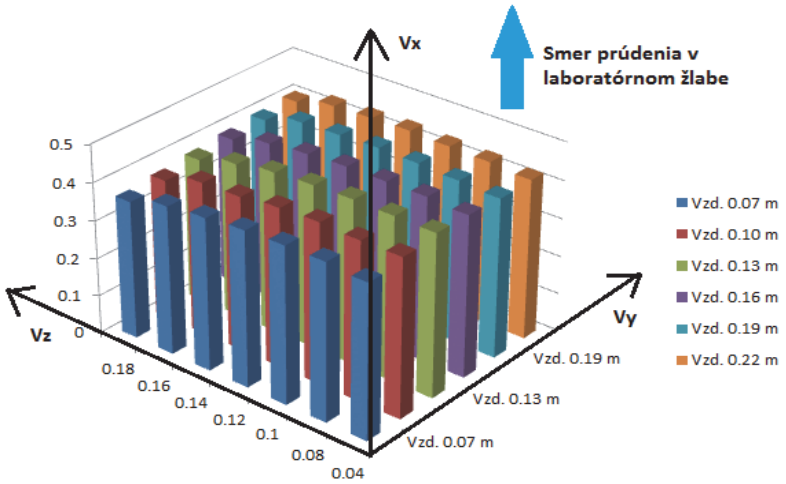
Na obrázku 9 (druhý profil za prekážkou) je vidieť podobné rozloženie rýchlostnej zložky v ako v prvom profile za prekážkou. Taktiež ako v prvom profile za prekážkou, aj tu vznikal v najnižších bodoch zvislice pri stene žľabu vír a ovplyvňoval rýchlostnú zložku v_x.



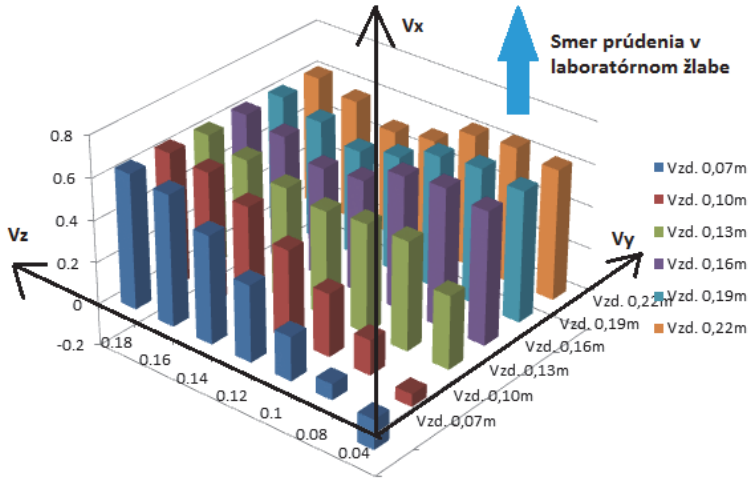
Obr. 5. Schematický náčrt laboratórneho žľabu.
Fig. 5. Illustrative outline of laboratory channel.



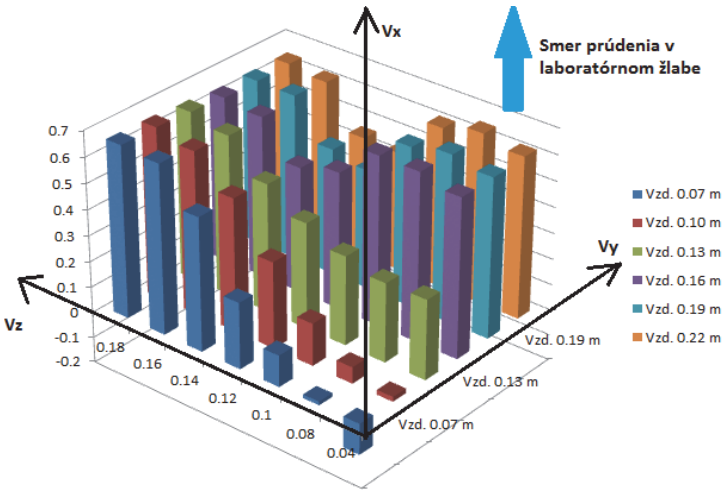
Obr. 6. Rozmiestnenie meraných bodov rýchlostných zložiek v profile za prekážkou.
Fig. 6. Arrangement the vertically axis and depth measurement point of the velocity components.



Obr. 7. Rýchlosť prúdenia v_x zložky v meraných bodoch v profile bez prekážky.
Fig. 7. Measurement of velocity component v_x in the velocity profile without the obstacle.



Obr. 8. Rýchlosť prúdenia v_x zložky v meraných bodoch v prvom profile za prekážkou.
Fig. 8. Measurement of velocity component v_x in the first profile behind the obstacle.



Obr. 9. Rýchlosť prúdenia v_x zložky v meraných bodoch v druhom profile za prekážkou.
Fig. 9. Measurement of velocity component v_x in thesecondt profile behind the obstacle.

Záver

Pilotné aplikácie prístroja Flow Tracker preukázali schopnosť tohoto prístroja pri využití oboch režimov „Discharge Mode“ a „General Mode“. Prístroj Flow Tracker poskytuje komplexnejší pohľad ako meranie hydrometrickým krídlom a to hneď na mieste merania v teréne. Prístroj je schopný zachytiť aj záporné rýchlosti a zareagovať aj v úsekoch, kde už klasické krídlo nestačí (prípadne by sa muselo použiť krídlo s inými parametrami, pre iné rozsahy rýchlostí). Zároveň už počas merania nás vie upozorniť na chyby merania. Určitou nevýhodou môže byť blízkosť určitých singularít (stena, kameň, prekážka) pri meraní, kedy môže vzniknúť problém s korektnosťou merania (interferencia). Toto sa však dá riešiť vhodným pootočením sondy, ktoré potom treba správne zahrnúť do vyhodnocovania výsledkov.
Prístroj Flow Tracker umožňuje získať hodnoty zložiek rýchlostí v ľubovolnom bode toku priamo v teréne. Výhodou je aj možnosť voľby umiestnenia a hustoty meraných bodov v toku, v meranej oblasti.
Na základe doterajších výsledkov môžeme konštatovať, že použitie prístroja Flow Tracker aj v náročných terénnych podmienkach dáva korektné údaje. Samozrejme, aj pri aplikácii tohto prístroja je nevyhnutné zvoliť čo najvhodnejšie profily, resp. lokality (v prípade použitia „general mode“ – meranie zložiek rýchlosti) v závislosti na type požadovaných údajov.

Poďakovanie

Tento článok bol podporený realizáciou projektu ITMS 26240120004 Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja, grantovou agentúrou APVV v rámci riešeného projektu č. APVV-2-0058-15 a grantovou agentúrou VEGA - 2/0058/15.

Literatúra

Chára, Z., Matoušek, V. (2010): Comparative study od ADV and LDA measuring techniques. 6th International Symposium on UltrasonicDoppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineerin, Prague, 33-36.

Fernandes, J. N., Leal, J. B., Cardoso, A. H. (2010): Ultrasound Velocity Profile (UVP) Measurements in Shallow Open-Channel Flows. IAHR, 2010. <http://hdl.handle.net/10362/5033>

Morlock, S. E., Nguyen, H. T., Ross, J. H. (2002): Feasibility of Acoustic Doppler Velocity Meters for the Production of Discharge Records from U. S. Geological Survey Streamflow-Gaging Stations: U. S. Geological Survey Water-Resources Investigations, Report 01-4157, 56 p.

Pecháčová, K., Halaj, P., Šinka, Z. (2012): Posúdenie vplyvu morfologických zmien na prietočnosť koryta toku Malá Nitra v úseku km 18,325 – km 18,525 v katastrálnom území obce Veľký Kýr. SPU, 2012, Nitra.
http://www.slpk.sk/eldo/2012/zborniky/014-12/pechacova.pdf

Peltier, Y., Riviere, N., Proust S., Mignot, E., Paquier, A., Shiono, K. (2013): Estimation of the error on the mean velocity and on the Reynolds stress due to a misoriented ADV probe in the horizontal plane: Case of experiments in a compound open-channel. Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 34, p. 34 – 41, ISSN 0955-5986.

Rehmel, M. (2007): Application of Acoustic Doppler Velocimeters for Streamflow Measurements. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 133, No. 2, p 1433 – 1438. ISSN 0733-9429.

STN EN ISO 748 (2008) Hydrometria. Meranie prietoku kvapalín v otvorených korytách s použitím hydrometrických prístrojov alebo plavákov.

STN ISO 9196 (2001) Meranie prietoku kvapalín v otvorených korytách. Meranie prietoku počas ľadových úkazov.

SonTek (2009): FlowTracker Handheld ADV Technical Manual, Firmware Version 3.7, Software Version 2.30 - SonTek/YSI, San Diego, 126.

Takashi, A., Sanehiro, W., Hiroshigek, K., Masanori, K., Michitsugu, M., 2004: Development of flow rate measurement on open channel flow using ultrasonic Doppler method. 4th International Symposium on Ultrasonic Doppler Method for Fluid Mechanics and Fluid Engineering, Sapporo, 2004, p. 33 – 36.

Takeda, Y., 1995: Velocity profile measurements by ultrasonic doppler method. Experimental Thermal and Fluid Science. Volume 10, Issue 4, 1995, p. 444 – 453. ISSN 08941777.

Vermeyen, T. B., 2004: A Laboratory Evaluation of Unidata´s Starflow Doppler Flowmeter and MGD Technologies Acoustic Doppler FlowMeter (ADFM). Water Resources Research Laboratory, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado. <www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/tvermeyen/starflow/index.html>

FLOW TRACKER DEVICE APPLICATION POSSIBILITIES FOR DETERMINATION OF FLOW CHARACTERISTICS

This paper describes application possibilities of Flow Tracker device in laboratory and also in field conditions. This device can be used for discharge measurements in a stream, but it can measure also the velocity profiles in the velocity compnents resolution level. Flow Tracker is based on the ADV (Acoustic Doppler Velocimetry) method and it can use 2D or 3D probe. The device works at two modes. One of them is so called „Discharge Mode“ and it is used for discharge determination in measured cross-section profiles, or for determination of distribution of average velocities in verticals. For calculation of discharge it can be choose one from three methods: mid-section, mean – section and Japanese method. The second potential mode is so called „General Mode“, which allows to measure velocity components in any measured point grid. This paper deals with basic attributes of both modes, as well as describe results of their practical application. For measurement was used the three-dimensional probe of Flow Tracker device. (SonTek / YSI). Practical applications were performed in laboratory and also in field conditions.

For the determination of discharge we applied “Discharge mode” and the mid-section method. Field measurements were carried out on the Malá Nitra stream, in the residential area of Veľký Kýr. Flow velocity profile and discharge was measured in four profiles, in a straight and a curved section of the Malá Nitra. The profiles were installed in various distances (60 – 730 meters). Results of measurements can be checked during the measurements and after finishing they are summarized in the report file (Fig. 4). In this report there are recorded data about the measured profile – name, location, date of measurement, measurements method (mid-section, mean-section or Japanese method), width of water flow, maximum and average depth of stream, flow area, average temperature. The velocities were measured along several vertical lines and number of points at each vertical can be changed according the actual water depth in the vertical (1-point, 2-point and 3-point method). Finally, there are determined flow velocities and discharge.

We also performed the pilot application of Flow Tracker device in “General mode”. The measurements are carried out in the Institute of Hydrodynamics - Academy of Sciences CR Praha. The tests were done in the flume with rectangular cross section shape (0,4 m x 0,4 m) and length 25 meters. The three-dimensional ADV probe was used for measurements of the velocity vector distribution in cross-section profile. Firstly, the measurement was performed without any barrier in the flume, and next we modified the flow conditions both in horizontal and vertical direction by installation of wooden barrier into the laboratory flume (Fig. 5, 6). The velocity vectors were measured in both cases in several (but the same) vertical lines. These vertical lines were in distance 70, 100, 130, 160, 190 and 220 mm from right side wall of the flume. In all vertical lines there were measured velocity components vx, vy, vz. in accurate points. The heights of the points on the vertical line were 40, 80, 100, 120, 140, 160 and 180 mm from the bottom of a laboratory flume. The result of the measurement is a database of v_x, v_y, v_z. components in the selected points, from which it is possible to determine the profiles of individual velocity components or resultant of these three components of velocity.

Results of measurements also confirmed that Flow Tracker device is able to measure the velocity in more difficult flow conditions as current meter with propeller.

Radoslav Schügerl, Mgr., PhD.
Yvetta Velísková, Ing., PhD.
Renáta Dulovičová, Ing.
Ústav hydrológie SAV
Račianska 75
831 02 Bratislava
Tel.: +421249268259
E-mail: schugerl@uh.savba.sk