

MĚŘENÍ POVRCHOVÝCH TOKŮ PŘÍSTROJEM FLOWTRACKER: VLIV METOD MĚŘENÍ NA HODNOTY PRŮTOKU

STREAMFLOW MEASUREMENTS WITH FLOWTRACKER: INFLUENCE OF MEASUREMENT METHODS ON DISCHARGE VALUES

Martin Slavík¹, Kamila Tučanová¹, Miroslav Šobr¹

¹Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: martin.slavik@natur.cuni.cz

Abstrakt: Průtok povrchových toků je klíčový parametr pro vodohospodářskou praxi i hodnocení sucha a povodní. Mezi nejpřesnější jednorázové metody měření patří rychlostní metody (např. s využitím přístroje FlowTracker), které stanovují průtok měřením rychlosti proudění v několika svislicích a hloubkách. Metodiku upravuje norma ISO 748, jejíž aktuální verze velmi zpřísnila požadavky na minimální počet svislic, ale nespécifikuje počet měřicích bodů na těchto svislicích. Studie na malých tocích (s hloubkou pod 0,5 m a průtokem do 0,550 m³/s) ukázala, že počet bodů na svislici měl na výsledný průtok zanedbatelný vliv a že stačí jeden měřicí bod (v 0,4 hloubky ode dna). Naopak počet svislic má na výsledný průtok zásadní vliv. Starší verze normy průtok systematicky nadhodnocovala a aktuální verze vykazuje nejnižší nejistoty měření. Zpřísnění normy tak bylo adekvátní.

Abstract: Stream discharge is a key parameter for water management practice as well as drought and flood assessment. Among the most accurate single-measurement methods are velocity-area methods (e.g., using the FlowTracker device), which determine discharge from flow velocity across several verticals and at different depths. Its application is governed by ISO 748, whose recent version increased the recommended number of verticals but does not specify the number of measurement points per vertical. This study on lower-order streams (with depths below 0.5 m and discharges up to 0.550 m³/s) showed that the number of points per vertical had an insignificant effect on the resulting discharge and that a single measurement point (at 0.4 of the depth from the riverbed) is sufficient. On the contrary, the number of verticals has a significant impact on the resulting discharge; the older version of the standard consistently yielded higher discharges. The recent version exhibited the lowest measurement uncertainties, suggesting that its tightening was appropriate.

Klíčová slova: FlowTracker, měření průtoku, hydrometrie, norma ISO 748, metodika.

Key words: FlowTracker, discharge measurement, hydrometry, ISO 748 standard, methodology.

1. Úvod

Průtok povrchových toků patří mezi základní hydrologické parametry pro hodnocení vodní bilance na povodích v průběhu roku a je klíčový pro vodohospodářskou praxi. Představuje také důležité kritérium pro hodnocení extrémních jevů, jako jsou sucha či povodně. Podélné profilování průtoků navíc umožňuje identifikovat skryté přítoky podzemní vody či naopak ztráty z povrchového toku.

Existuje řada metod měření průtoku, které se liší principem měření, vhodností pro různé typy proudění, časovou a odbornou náročností a spolehlivostí měření. Mezi nejčastěji používané jednorázové metody, a zároveň také jedny z nejpřesnějších, patří rychlostní metody. Typickým představitelem této skupiny je hydrometrická vrtule či přístroj FlowTracker využívající Dopplerův jev. Tento přístup vyžaduje měření rychlosti proudění na několika svislicích napříč průtočným profilem a v různých hloubkách na těchto svislicích, následně se průtok stanoví na základě průtočné plochy.

Metodiku měření upravuje technická norma ISO 748: „Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole s využitím bodových měření“, jejíž aktuálně platná verze (2022) zpřísnila požadavky na minimální počet svislic, ale nespécifikuje počet měřicích bodů na těchto svislicích (běžně se využívá 1 až 3 bodů na svislici). Zpřísněné požadavky na počet svislic mají dopad především na měření na malých tocích s šířkou pod 5 metrů. Například pro hypotetický tok s šířkou 0,9 metru požaduje verze normy z roku 2022 4–5× více vertikál v porovnání se starší normou z roku 2001. To sice vede k lepšímu popisu hydrauliky proudového pole, ale vyžaduje to výrazně zvýšené úsilí a více času potřebného pro zjištění průtoku.

Provedená studie hodnotila vliv počtu svislic a měřicích bodů na stanovení průtoku rychlostní metodou na malých tocích. Výzkum probíhal formou přímých měření přístrojem FlowTracker na několika otevřených korytech menších vodních toků s využitím různého počtu svislic a různého počtu měřicích bodů na těchto svislicích.

2. Metodika

Měření bylo provedeno pomocí přístroje FlowTracker2 Handheld-ADV s 2D/3D sondou (SonTek, USA) s měřitelným rozsahem rychlostí proudění 0,001–4 m/s. Měření proběhlo na 7 různých profilech (obr. 1) celkem na 5 malých tocích v České republice (Botič, Loděnice, Litovický potok, Žehrovka, Mohelka) s hloubkou do 0,5 m, šířkou pod 8,5 metru a průtokem do 0,550 m³/s.



Obr. 1 Fotografie měřících profilů: a) Botič, b) Loděnice, c) Litovický potok – úzký profil, d) Litovický potok – široký profil, e) Žehrovka, f) Mohelka – úzký profil, g) Mohelka – široký profil.

Fig. 1. Photographs of the measuring profiles: a) Botič; b) Loděnice; c) Litovický potok – narrow; d) Litovický potok – wide; e) Žehrovka; f) Mohelka - narrow; g) potok – narrow.

Celkově bylo provedeno 19 individuálních měření. Počet svislic byl pro každý profil stanoven dle posledních 3 verzí normy ISO (z let 2001, 2007 a 2022) – počet svislic byl vždy volen tak, aby splňoval minimální kritéria dané normy, viz tab. 1. Počet měřících bodů na každé svislici byl buď 1 (pro toky s hloubkou do 0,25 m; dále 1bodová metoda), nebo 3 (pro toky s hloubkou nad 0,25 m; dále 3bodová metoda), a to dle doporučení Boitena (2005).

Tab. 1 Doporučený minimální počet svislic dle různých verzí normy ISO 748.

Tab. 1 Recommended minimum number of verticals according to different versions of ISO 747 standard.

verze 2001		verze 2007		verze 2022	
šířka toku (m)	počet svislic	šířka toku (m)	počet svislic	šířka toku (m)	počet svislic
0-0,5	3-4	0-0,5	5-6	0-0,5	≥ 15
0,5-1	4-5	0,5-1	6-7	0,5-5	≥ 20
1-3	5-8	1-3	7-12	> 5	≥ 22
3-5	8-10	3-5	13-16		
5-10	10-20	> 5	≥ 22		
> 10	≥ 20				

Pro určení průměrné rychlosti proudění v na svislici lze použít následující rovnice: rovnice 1 pro 1bodovou metodu, rovnice 2 pro 2bodovou metodu a rovnice 3 pro 3bodovou metodu. V těchto rovnicích spodní index značí relativní hloubku ode dna.

$$v = v_{0,4} \quad (1)$$

$$v = \frac{1}{2} (v_{0,8} + v_{0,2}) \quad (2)$$

$$v = \frac{1}{4} (v_{0,8} + 2v_{0,4} + v_{0,2}) \quad (3)$$

Z rovnic je patrné, že 3bodovou metodu lze přepočítat na 2bodovou a 1bodovou metodu. Tohoto jsme využili za účelem stanovení, zda se výsledná průměrná rychlost na svislici (resp. výsledný průtok pro daný profil) liší v závislosti na zvolené metodě. Konkrétně pro toky s hloubkou nad 0,25 m jsme měřili 3bodovou metodou a následně jsme pro tento tok vypočítali ekvivalentní výsledky pro 2bodovou a 1bodovou metodu. Pro toky s hloubkou pod 0,25 m byla použita vždy pouze 1bodová metoda. Průtok (m^3/s) byl vypočítán podle tzv. středové metody, což je nejčastější způsob vyhodnocení těchto dat. Výpočet se provádí tak, že se průměrná rychlost na svislici násobí takovou průtočnou plochou, aby se zvolená svislice nacházela ve středu průtočné plochy, a tudíž jsou okraje každé průtočné plochy v polovinách vzdáleností mezi jednotlivými svislicemi.

Průtoky změřené a vypočítané různými způsoby jsme srovnali mezi sebou a také s hodnotami uváděnými z vodoměrných stanic ČHMÚ, přičemž měrné profily byly zvoleny právě tak, aby byly v bezprostřední blízkosti těchto stanic.

3. Výsledky a diskuse

3.1 Počet měřících bodů na svislici

Pro určení, zda různé bodové metody (odlišné počtem měřících bodů na svislici) vedou k statisticky významně různým výsledkům průměrných rychlostí proudění na svislicích (dle rovnic 1–3), byl použit Studentův t-test s hladinou významnosti 0,05. Pro jednotlivé profily z celkových 18 testů hned 15 neprokázalo významný rozdíl mezi jednotlivými bodovými metodami, přičemž zbývající tři se statisticky významným rozdílem byly všechny provedeny na jednom profilu, Mohelka – úzký profil. Při hodnocení všech profilů najednou vyšel mezi bodovými metodami statisticky významný rozdíl. Při vynechání zmíněných měření na profilu Mohelka – úzký profil ovšem rozdíly již nejsou statisticky významné. Specifikum tohoto profilu připisujeme abnormálnímu vertikálnímu rozložení rychlostí (v hloubce 0,8 ode dna byly relativně výrazně nižší rychlosti proudění v porovnání s ostatními sledovanými profily), což je pravděpodobně dáno spíše turbulentním než laminárním prouděním, protože tento profil je umístěn v meandru (obr. 1f).

Obdobné statistické testy byly provedeny i pro hodnoty průtoku, vypočítané z těchto rychlostních profilů a příslušných průtočných ploch. Výsledné průtoky mezi jednotlivými metodami (3bodová vs. 2bodová; 3bodová vs. 1bodová; 2bodová vs. 1bodová) se typicky lišily jen o jednotky l/s , či vůbec. Statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými metodami byl patrný pouze při využití profilu Mohelka – úzký profil. Protože tento profil považujeme za méně věrohodný a pro měření FlowTrackerem nevhodný, a protože na ostatních profilech nebyl patrný statisticky významný rozdíl, docházíme k závěru, že měření pomocí 1bodové metody se zdá pro malé toky dostatečné.

3.2 Počet svislic

Měření ukázala, že nejstarší studovaná norma (z roku 2001, s nejnižším počtem svislic) oproti současné verzi normy (z roku 2022, s největším počtem svislic) vykazovala v průměru o 3 % až 17 % vyšší průtoky. Srovnání

současné verze s verzí z roku 2007 nebylo takto jednoznačné, protože pro některé profily vykazovala vyšší průtoky (až o 5 %), zatímco pro jiné vykazovala nižší průtoky (až o 7 %).

Pro zjištění, zda rozdíly v průtoku mezi jednotlivými přístupy jsou statisticky významné, byl opět použit Studentův t-test. Byly srovnávány průtoky jednak změřené pomocí 3bodové metody, jednak přepočítané pomocí 1bodové a 2bodové metody. Výsledky uvádí tab. 2. Statisticky významný rozdíl v průtoku byl nalezen pouze mezi nejnovější a nejstarší verzí normy, a to pro všechny bodové metody. Oproti tomu mezi nejnovější normou a tou z roku 2007 statisticky významný rozdíl nalezen nebyl.

Tab. 2 Hodnoty průtoku pro jednotlivé profily, nejistoty měření a hodnoty průtoku dle blízké ČHMÚ vodoměrné stanice. A – ANO, N – NE.

Tab. 2 Discharge values for individual profiles, measurement uncertainties, and discharge values according to a nearby CHMI gauging station. A – YES, N – NO.

Profil	ISO 748 verze	Průtok dle 3bodové metody [m³/s]	Průtok dle 2bodové metody [m³/s]	Průtok dle 1bodové metody [m³/s]	IVE/ISO nejistota [%]	Průtok na ČHMÚ profilu [m³/s]
Botič	2007, 2022	0,546	0,547	0,545	1,9/2,5	0,535
	2001	0,564	0,565	0,564	3,0/4,6	
Loděnice	2007, 2022	0,395	0,394	0,397	2,2/2,5	0,418
	2001	0,407	0,407	0,408	3,5/4,5	
Litovický potok - úzký p.	2022	0,078	0,077	0,077	2,8/2,8	0,0703
	2007	0,082	0,081	0,083	5,7/6,2	
	2001	0,089	0,089	0,089	6,5/8,3	
Litovický potok - široký p.	2022	0,071	0,072	0,071	3,7/2,9	0,0703
	2007	0,070	0,070	0,070	8,7/3,9	
	2001	0,071	0,071	0,071	14,2/5,7	
Žehrovka	2022	-	-	0,096	3,7/3,1	0,0954
	2007	-	-	0,100	4,4/4,1	
	2001	-	-	0,103	6,7/5,9	
Mohelka - úzký p.	2022	0,095	0,090	0,101	2,9/2,7	-
	2007	0,098	0,096	0,099	4,7/5,5	
	2001	0,091	0,089	0,093	5,7/7,0	
Mohelka - široký p.	2022	0,085	0,083	0,088	4,2/2,7	-
	2007	0,079	0,078	0,081	23,6/5,7	
	2001	0,099	0,097	0,102	24,5/8,3	
Je rozdíl ve výsledném průtoku statisticky významný?						
	3bodová vs. 2bodová m.	3bodová vs. 1bodová m.	2bodová vs. 1bodová m.			
Všechny profily dohromady	A	A	A			
Všechny profily dohromady kromě Mohelky – úzký p.	N	N	N			

3.3 Nejistoty měření

Existuje celá řada přístupů pro kvantifikaci nejistot měření rychlostními metodami. Přístroj FlowTracker automaticky počítá nejistoty dvěma způsoby: pomocí tzv. IVE a ISO přístupů. Využíváme tedy tyto přístupy jako relativní ukazatele spolehlivosti našich měření, které nám umožňují další srovnání výsledků napříč různými meto-

dami měření. Hodnotíme 19 individuálních měření, získaných s využitím 3bodové metody a různého počtu svislic. Obecně je měření s nejistotou do 5 % považováno za dobré a nad 10 % za nevyhovující.

Dle IVE přístupu 11 z 19 měření spadalo do hodnocení dobrého měření s nejistotou do 5 %, pět do rozsahu 5–10 % a tři měření překročila hranici 10 % naznačující nevyhovující měření. ISO přístup vykazoval podobné závěry – 11 měření s nejistotou do 5 % a zbylá měření v rozsahu nejistoty 5–10 %.

Při bližším pohledu na jednotlivé verze studované normy jsou patrné rozdíly. Měření dle nejnovější verze z roku 2022 prokázala ve všech případech nejistotu pod 5 % (shodně pro IVE i ISO přístupy). Oproti tomu pro měření dle verze z roku 2007 toto platilo pouze v polovině případů. V případě měření dle nejstarší verze (2001) byla nejistota do 5 % zajištěna pouze ve dvou případech. Obecně platilo, že s rostoucím počtem svislic klesala nejistota měření: např. průměrná nejistota dle IVE přístupu byla 3,1 % pro verzi 2022, 9,2 % pro verzi 2007 a 9,4 % pro verzi z roku 2002. Nejnovější verze normy tak jasně ukázala výrazně nižší nejistotu měření v porovnání se staršími verzemi. Dále bylo zjištěno, že nejistota měření obecně klesala s rostoucím průtokem, vyšší rychlostí proudění a vyšší hloubkou a šířkou měřeného profilu v korytě toku.

3.4 Využití v hydrometrii

Naše výsledky nelze přímo zobecnit na jiné typy přístrojů používaných v rychlostních metodách. Přístroje se totiž liší přesností, citlivostí i měřicím rozsahem a vztahují se na ně odlišná doporučení. Závěry této studie proto považujeme za specifické pouze pro přístroj FlowTracker.

Ačkoliv se řada prací věnuje metodice určování nejistoty měření a existují rozsáhlá doporučení pro počet svislic a měřicích bodů, překvapivě málo studií se zabývá reálnou spolehlivostí těchto měření na malých tocích. Chyběly tak přímé důkazy z terénu, zda je čas navíc věnovaný hustšímu měření skutečně opodstatněný. Naše výsledky z menších toků ukazují, že jednobodová metoda je díky vertikálnímu rychlostnímu profilu dostatečně reprezentativní. To je v souladu s normou ISO, která v žádné své verzi nepředepisuje povinný počet bodů na svislici. Naopak se jasně potvrdilo, že nejistota měření i relativní chyba klesají s rostoucím počtem svislic, což má na přesnost zásadnější vliv než samotný počet měřicích bodů.

4. Závěr

Na základě více než 500 bodových měření se ukázalo, že počet bodů na svislici měl zanedbatelný vliv na průtok u pěti ze šesti profilů – rozdíl mezi průtoky byl statisticky nevýznamný. Výjimkou byl profil s nevyhovujícími hydraulickými podmínkami a nízkými rychlostmi u hladiny, kde je spolehlivost měření nízká. Naopak počet svislic měl na výsledný průtok zásadní vliv. Postup dle zastaralé ISO 748 z roku 2001 (s menším počtem svislic) systematicky nadhodnocoval průtok oproti aktuální verzi 2022, která vykazovala nejmenší nejistoty a odchylky.

Ukázalo se, že pro malé toky (hloubka <0,5 m, průtok <0,550 m³/s) jsou měření s jedním měřicím bodem (v místě 0,4 hloubky ode dna) dostatečně reprezentativní, zejména při ustáleném proudění. Klíčová je však dostatečná hustota svislic, v tomto ohledu se zdá zpřísnění normy z roku 2022 adekvátní. Tato studie tak přináší poznatky o efektivním využití rychlostní metody a má praktické uplatnění v různých oblastech vodního hospodářství.

Konferenční příspěvek vznikl na základě článku Slavíka et al. (2026), ve kterém je k dispozici detailnější metodický přístup a rozbor získaných výsledků vč. jejich diskuse.

Poděkování: Příspěvek vznikl díky podpoře Technologické agentury České republiky v rámci projektu PERUN, SS02030040.

Seznam literatury

Boiten W., 2005. *Hydrometry: The Delft Lecture Note Series*. – A.A. Balkema. Rotterdam. ISBN 0-203-97109-4.

ČSN EN ISO 748, 2001. *Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole*. – Český normalizační institut. Praha. Třetí vydání.

ISO 748, 2007. *Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current meters or floats*. – International Organization for Standardization. Geneva. Fourth edition.

ČSN EN ISO 748, 2022. *Hydrometrie – Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole s použitím bodových měření*. – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. Páté vydání.

Slavík M., Tučanová K., Šobr M., 2026. *Discharge measurement in small streams using current meters: An example using FlowTracker to assess the influence of vertical count and number of points per vertical*. – Flow Measurement and Instrumentation 107, 103112. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2025.103112>