

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Hydrologie a hydrogeologie



**Bc. Kamila Tučanová**

**Měření povrchových toků přístrojem FlowTracker: vliv metod měření na hodnoty průtoků**

Streamflow measurements with FlowTracker: influence of measurement methods on discharge values

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Martin Slavík, Ph.D.

Praha, 2024

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 30.7.2024

Bc. Kamila Tučanová

## Poděkování

Ráda bych zde poděkovala svému školiteli za cennou pomoc při měření, za mnoho nedocenitelných komentářů a připomínek, které mi poskytoval, a za celkový dohled nad vedením práce. Velký dík mu patří i za mimořádnou trpělivost, kterou měl s mou prokrastinací a doděláváním věcí na poslední chvíli. Největší poděkování připadá mé rodině, a zejména pak mé mamince, která mě v průběhu celého studia neúnavně podporovala.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se v rešeršní části zabývá představením rychlostní metody měření průtoků, a zejména přístroje FlowTracker. Na základě dostupné literatury, především různých verzí normy ISO 748, jsou představeny různé metodické postupy měření a výpočtu rychlosti proudění a průtoku. V praktické části práce byl na několika menších vodních tocích na vybraných profilech změřen průtok FlowTrackerem. Na stejném profilu se měřilo několikrát s rozdílnými počty svislic v závislosti na použité verzi ISO 748. Hodnoty průtoků získané v rámci jednotlivých profilů za použití rozdílných norem pak byly mezi sebou porovnány. Zároveň byly výsledné průtoky srovnány s referenčními průtoky stanovenými pro každý profil. Dvě metody výpočtu průtoku (středová a průměrová) byly porovnány mezi sebou, a různé metody výpočtu průměrných rychlostí na svislici (3bodová, 2bodová a 1bodová) také. Odchyly v rámci průměrných rychlostí (respektive průtoků dle středové metody) se při srovnání různých bodových metod měření na svislici ukázaly jako nevýznamné. Středová metoda dávala oproti průměrové metodě stabilně vyšší hodnoty průtoku. Nejprísnejší verze normy s nejvyššími doporučenými počty svislic vykazovala na všech profilech v porovnání s ostatními verzemi nejnížší nejistoty a odchylky měření, takže se její zpřísnění v roce 2022 jeví jako adekvátní.

**Klíčová slova:** FlowTracker, měření průtoku, norma ISO 748, středová metoda, průměrová metoda

## **Abstract**

This master's thesis's review section focuses on presenting velocity-area method of discharge measurement, particularly the FlowTracker device. Based on available literature, especially various versions of the ISO 748 standard, different methodological approaches for measuring and calculating flow velocity and discharge are introduced. In the practical part of the thesis, discharges were measured using FlowTracker at several smaller streams on selected profiles. Measurements were taken multiple times on the same profile with varying numbers of verticals depending on the version of ISO 748 used. The discharge values obtained for each profile using different standards were then compared with each other. Additionally, the discharges were compared with reference discharges established for each profile. Two discharge calculations (mid-section and mean-section methods) were compared, as well as various methods of average velocity on vertical calculation (3-point, 2-point and 1-point method). The deviations in average velocities (i.e., mid-section method discharges) when comparing different point methods on the vertical proved to be insignificant. The mid-section method yielded higher discharge values compared to the mean-section method. The most stringent version of the standard, which has the highest recommended number of verticals, exhibited the lowest measurement uncertainties and deviations across all profiles compared with the other versions, indicating that its tightening in 2022 appears to be appropriate.

Key words: FlowTracker, discharge measurement, ISO 748 standard, mid-section method, mean-section method

## Obsah

1. Úvod .....	1
2. Rychlostní metoda měření průtoku .....	2
2.1 Srovnání verzí normy ISO 748 .....	5
2.1.1 Minimální počty svislic .....	6
2.1.2 Bodová měření na svislci .....	8
3. Přístroj FlowTracker.....	9
3.1 Historie a Dopplerův posun.....	9
3.2 Popis přístroje FlowTracker .....	10
3.3 Popis měření.....	12
3.3.1 Zvolení režimu měření, nastavení šablon.....	12
3.3.2 Průběh samotného měření.....	13
3.3.3 Ukončení měření, následné úpravy.....	16
3.4 Přesnost měření .....	17
3.4.1 Srovnání přesnosti Flowtrackeru s jinými metodami.....	17
4. Terénní práce – popis měření.....	18
4.1 Metodika měření.....	19
4.2 Popis měrných profilů a měření .....	21
4.2.1 Botič (Praha – Nusle) .....	23
4.2.2 Loděnice (Loděnice).....	23
4.2.3 Litovický potok (Praha – Jiviny) .....	24
4.2.4 Žehrovka (Březina).....	25
4.2.5 Mohelka.....	25
5. Terénní práce – výsledky měření.....	27
5.1 Průtoky získané na jednotlivých měrných profilech.....	27
5.1.1 Botič (Praha – Nusle) .....	30
5.1.2 Loděnice (Loděnice).....	30
5.1.3 Litovický potok (Praha – Ruzyně, úzký profil).....	31
5.1.4 Litovický potok (Praha – Ruzyně, široký profil) .....	32
5.1.5 Žehrovka (Březina).....	33
5.1.6 Mohelka (horní profil) .....	34
5.1.7 Mohelka (spodní profil) .....	35
5.1.8 Shrnutí – měřené průtoky .....	35
5.2 Rozdíly v rychlosti proudění a ve velikosti průtoku.....	39

6. Diskuze.....	42
6.1 Velikosti průtoku v závislosti na počtu svislic.....	42
6.1.1 Středová metoda .....	43
6.1.2 Průměrová metoda.....	44
6.2 Nejistoty měření dle ISO a IVE.....	45
6.2.1 Srovnání nejistot ISO a IVE .....	45
6.2.2 Nejistoty měření IVE dle norem 748 .....	46
6.2.3 Vliv vybraných parametrů na nejistotu měření.....	47
6.2.4 Srovnání nejistot a relativních odchylek .....	48
6.3 Průměrné rychlosti proudění dle různých bodových metod.....	49
6.3.1 Velikosti průtoků dle bodových metod .....	50
6.4 Rozdíl mezi středovou a průměrovou metodou.....	50
7. Závěr .....	51
8. Reference .....	55
9. Seznam obrázků .....	57
10. Seznam tabulek .....	57
11. Přílohy.....	59

## 1. Úvod

Průtok představuje objem vody, který za zvolený časový interval proteče pozorovaným průtočným profilem. Nejčastěji používanými jednotkami jsou  $\text{m}^3/\text{s}$  či  $\text{l/s}$ , průtok se často označuje symbolem  $Q$ . Využívá se např. pro hodnocení odtokových režimů a vodní bilance na povodích v průběhu roku, a slouží jako základní veličina pro podniky zabývající se nakládáním s vodou. Představuje také důležité kritérium pro hodnocení extrémních projevů počasí a klimatu, jako jsou sucho a povodně. Je důležité průtok měřit co možná nejpřesněji, abychom mohli co nejlépe popsat procesy spojené s vodními toky a co nejefektivněji využívat a chránit vodní zdroje.

Existuje mnoho metod měření průtoku. Jednotlivé metody se od sebe navzájem odlišují v mnoha ohledech. Různé metody měření průtoku mají různé principy měření, jsou vhodné pro rozdílné toky a typy proudění, měření jsou rozdílně časově a odborně náročná, některé metody jsou spíše vhodné pro jednorázová měření, jiné pro kontinuální měření průtoku. Různé metody měření průtoku mohou mít také rozdílné přesnosti měření.

Jedněmi z nejčastěji využívaných jednorázových metod měření průtoku, a zároveň také jedněmi z nejpřesnějších, jsou rychlostní metody. Typickým představitelem této skupiny metod je hydrometrická vrtule, a v současnosti se na poli měření průtoku stále více uplatňuje přístroj využívající při měření princip Dopplerova jevu, FlowTracker. V literatuře je FlowTracker uváděn jako velice přesná metoda (Šebová et al., 2010; Tučanová, 2021), a proto v praktické části využiji k měření průtoku tento přístroj. V teoretické části práce se zaměřím na rychlostní metodu měření průtoku, a podrobně představím právě měření s přístrojem FlowTracker.

Metodickou správností měření rychlostní metodou se zabývá celá řada publikací. Základní kámen v tomto ohledu představuje mezinárodní technická norma ISO 748: „Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole s využitím bodových měření“, která udává doporučení a požadavky pro měření průtoku rychlostní metodou v otevřených korytech. Uvádí minimální požadované počty svislic v závislosti na šířce profilu, různé bodové metody pro výpočet průměrných rychlostí a také rovnice výpočtu průtoku. Norma v průběhu let doznala několika aktualizací a změn, zejména u požadavku na minimální počet svislic (novější normy vyžadují měření na větším počtu svislic než starší normy). V rešeršní části práce představím odlišnosti mezi jednotlivými verzemi normy.

V praktické části práce změřím FlowTrackerem průtoky na několika vybraných profilech menších vodních toků (velikosti průtoku do 1 m<sup>3</sup>/s) s přihlédnutím k minimálnímu počtu svislic uvedenému ve třech různých zkoumaných verzích normy ISO 748 (2001, 2007 a 2022). Jedním z cílů mé práce je zjistit, jak se liší hodnoty průtoku naměřené na stejném profilu ve stejný čas, ale s přihlédnutím k různým verzím normy. Chci zhodnotit, jestli aktuálně platná a co do minimálního počtu svislic nejpřísnější norma (2022) udává stejné, či naopak výrazně jiné výsledky než normy předchozí.

Boiten (2005) doporučuje v závislosti na hloubce toku použít různé bodové metody pro zjištění průměrné rychlosti proudění na svislici. ISO 748 žádné takové doporučení nevydává. V této práci budu pracovat s 3bodovou, 2bodovou a 1bodovou metodou výpočtu průměrné rychlosti na svislici a mým cílem je stanovit, jestli a jak moc se průměrné rychlosti a z nich vycházející průtoky v závislosti na zvolené bodové metodě liší.

Jako nejvyužívanější metody výpočtu průtoku uvádí jak norma ISO 748, tak další zdroje (např. Shaw, 1994; Boiten, 2005) středovou a průměrovou metodu. V literatuře není ani jedna z norem vyzdvížena jako ta, která dává přesnější výsledky, nicméně většina hydrologických institucí využívá k výpočtu průtoku středovou metodu (Schugerl et al., 2019), v továrním nastavení přístroje FlowTracker je také středová metoda. Šebové et al. (2010) vyšla středová metoda při porovnání s průměrovou metodou jako ta poskytující vyšší hodnoty průtoku. U mých měření spočítám průtok oběma metodami a prověřím, zda a případně jak moc se výsledky od sebe liší.

## 2. Rychlostní metoda měření průtoku

Rychlostní metoda měření průtoku spočívá v měření rychlosti proudění na několika místech průtočného měrného profilu nebo v určitém úseku koryta a následném vynásobení průměrných rychlostí odpovídající velikostí průtočné plochy. Mezi metody a přístroje využívající tento princip patří například hydrometrická vrtule propelerového a miskovitého typu, plováková metoda, Pitotova trubice, elektromagnetické měřiče rychlosti proudění a přístroje založené na Dopplerově jevu, tedy ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) (Boiten, 2005) a FlowTracker.

Pro metodicky správné a co nejpřesnější provedení měření pomocí rychlostní metody je důležité vybrat vhodnou lokalitu. K měření je potřeba najít dostatečně dlouhý přímý úsek toku, aby bylo



zajištěno v nejvyšší možné míře laminární proudění. Koryto a břehy toku by měly být uniformní a stabilní, aby během měření nedocházelo ke změnám vlastností proudění. Při volbě měrného profilu je důležité vyhnout se místům, kde se v toku nachází větší překážky jako kameny nebo hustá vegetace, a vyvarovat se místům, kde se vyskytují zpětná proudění, víry a stojatá voda. Zároveň by se měření nemělo provádět v blízkosti jezů, stupňů, soutoků nebo míst, kde se tok rozděluje (ISO 748, 2022).

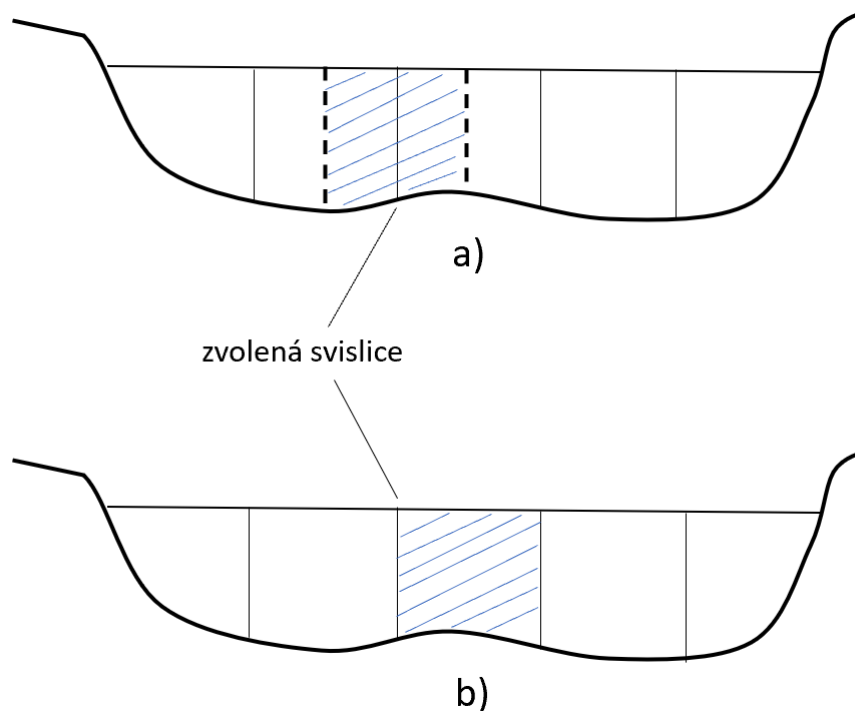
Rychlostní metody obecně patří mezi jedny z nejpřesnějších způsobů zjišťování velikosti průtoku, u vrtule, ADCP a Flowtrackeru se udávají přesnosti do 5 % (Shaw, 1994; Huhta a Sloat, 2007). Jsou vhodné pro měření na různě velkých tocích – od menších toků, kde se používají sondy nebo vrtule upevněné na soutyčích, po větší řeky, pro které je vhodnější spouštět je se závažím z mostu nebo z loďky, případně změřit průtok pomocí ADCP, které se spíše hodí pro měření velkých a hlubokých řek než mělkých potoků. Problémy mohou nastat při měření na malých horských tocích kvůli rychlému a často turbulentnímu proudění či u velkých toků, u kterých měření na svislicích trvá příliš dlouho a hrozí výrazné změny průtoku v průběhu měření (Shaw, 1994, Boiten, 2005).

Měrný profil se vytyčuje nejčastěji pomocí pásma kolmo na vodní tok, a tedy ideálně i kolmo na směr proudění. Hloubka v místě měrného profilu by měla být dostatečná k použití námi zvolené metody a zároveň by k jejím změnám mělo docházet jen pozvolna, hloubkový profil v místě měření má mít rovnoměrný charakter (Boiten, 2005; ISO 748, 2022). Kromě ADCP, které měří rychlost v uzlových bodech sítě v celém průtočném profilu toku (Yorke a Oberg, 2002), využívají rychlostní metody postup, při kterém se rychlost proudění měří na několika zvolených místech vytyčeného profilu. V případě plovákové metody se jedná zejména o povrchové měření rychlosti na několika paralelních drahách (Kříž et al., 1988), u přístrojů typu hydrometrická vrtule nebo FlowTracker probíhá měření na měrných svislicích. Svislice se, pokud možno v pravidelném intervalu, vytyčují na zvoleném měrném profilu a rychlost proudění se měří na jednom nebo více hloubkových bodech nacházejících se na zvolených svislicích (Boiten, 2005). Požadavky na minimální počet svislic potřebný k provedení správného měření se liší v závislosti na šířce koryta v místě měření, a upravuje jej technická norma ISO 748. Podrobnější popis počtu svislic a počtu bodů na svislici, stejně jako vývoj normy ISO 748 v čase, je v podkapitole 2.1. Předmětem této práce je měření s přístrojem FlowTracker, a proto nejsou ostatní způsoby měření průtoku rychlostní metodou předmětem hlubší rešerše. Detailně o nich pojednávají např. Boiten (2005), Rehmel (2007) a Tučanová (2021).

Samotné měření rychlosti proudění, případně rychlosti částic suspendovaných v toku, se v bodě na svislici provádí po dobu zvoleného časového intervalu. Rychlostní metody se mají využívat za ustáleného proudění, nicméně v přírodních podmínkách v toku vizuálně blízkému se ustálenému proudění dochází k fluktuacím v rychlosti proudění. Kvůli tomuto fenoménu se předpokládá, že čím delší měření, tím větší bude jeho přesnost (John, 1978). Při příliš dlouhých bodových měřeních ovšem může dojít ke změně charakteru proudění a zvýšení nebo snížení velikosti průtoku. Proto se jako vhodný kompromis v případě měření FlowTrackerem i hydrometrickou vrtulí jeví délka jednoho měření 30 s (Kříž et al., 1988). Tato délka měření je uvedena jako minimální i v aktuálně platné normě ISO 748 (2022).

V případě jednobodového měření se rovnou získává průměrná rychlost na svislici, zatímco u vícebodových měření na svislici se průměrná rychlost potřebná k výslednému výpočtu velikosti průtoku musí dopočítat. Rovnice pro dopočet průměrné rychlosti u vícebodových metod jsou detailně popsány v podkapitole 2.1.2. Vynásobením průměrných rychlostí proudění a dílčích průtočných ploch se následně získávají dílčí průtoky, a celkový průtok je součtem dílčích průtoků vypočítaných na daném profilu.

K výpočtu dílčích průtoků, a tedy i celkového průtoku, se nejčastěji používají dvě metody, a to středová (*mid-section*) metoda a průměrová (*mean-section*) metoda. Středová metoda je primární metodou pro výpočet průtoku mnoha hydrologických služeb (Schugerl et al., 2019), jmenovitě např. USGS (SonTek, 2019). U středové metody 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. Průměrová metoda spočívá v tom, že se průměrná rychlost na zvolené svislici násobí s průtočnou plochou ohraničenou dvěma sousedícími svislicemi (Shaw, 1994). Znázornění průtočných ploch a odpovídajících svislic u obou metod je na obrázku 1. Rovnice popisující obě metody, které byly využity v praktické části této práce, jsou detailně popsány v kapitole 4.1.



Obr. 1. Znárodnění a) středové a b) průměrové metody výpočtu průtoku, vyšrafované oblasti označují dílčí průtočné plochy.

## 2.1 Srovnání verzí normy ISO 748

Metodickou správnost měření průtoku rychlostní metodou, na níž je založen princip fungování FlowTrackeru, upravuje mezinárodní technická norma ISO 748. První verze této normy byla představena v roce 1973 a aktuálně platná je čtvrtá aktualizace vydaná v roce 2021, respektive 2022 (Česko). V této práci jsem se zaměřila výhradně na 3 poslední aktualizace normy, a to 1) ČSN ISO 748: Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole (2001), dále jen ISO 748 (2001); 2) EN ISO 748: Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats (2007), dále jen ISO 748 (2007); a 3) ČSN EN ISO 748: Hydrometrie–Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole s využitím bodových měření (2022), dále jen ISO 748 (2022). Dvě úplně nejstarší verze normy (vydané v letech 1973 a 1979) jsou již dlouho zastaralé, a proto s nimi pracovat nebudu.

Norma ISO 748 udává doporučení týkající se výběru místa vhodného k měření průtoku z hlediska vlastností proudění, přítomnosti přírodních překážek a vegetace nebo antropogenních překážek, jako jsou mosty. Tato doporučení se až na drobné rozdíly ve formulacích ve všech třech verzích normy shodují, výjimku představuje doporučení pro

minimální přímou délku toku v okolí měrného profilu. Normy vydané v letech 2001 a 2007 udávají minimální délku přímého úseku proudění proti proudu od měrného profilu jako alespoň dvojnásobnou vzhledem k délce přímého úseku proudění po proudu od měrného profilu, bez ohledu na šířku toku. ISO 748 (2022) doporučuje zvolení takového měrného profilu, aby byl přímý úsek proti proudu od něj alespoň šestinásobný vzhledem k šířce koryta a po proudu pak trojnásobný. Při měřeních v praxi ovšem vyplývá, že zejména v přírodních antropogenně neovlivněných tocích je velice obtížné najít dle aktuální normy dostatečně dlouhý přímý úsek.

### 2.1.1 Minimální počty svislic

V čem se výše zmíněné verze ISO 748 jedna od druhé výrazně odlišují je minimální doporučený počet měrných svislic v závislosti na šířce měrného profilu. Během revizí této normy docházelo k postupnému zvyšování minimálního počtu svislic, a to zejména u malých toků s šířkami do pěti metrů. Minimální počty svislic dle jednotlivé verze normy ISO 748 jsou uvedené v tabulkách 1–3.

*Tabulka 1. Minimální počet svislic při bodovém měření průtoků rychlostní metodou dle ISO 748 (2001).*

Šířka koryta [m]	Počet svislic
0–0,5	3–4
0,5–1	4–5
1–3	5–8
3–5	8–10
5–10	10–20
>10	≥20

Tabulka 2. Minimální počet svislic při bodovém měření průtoku rychlostní metodou dle ISO 748 (2007).

Šířka koryta [m]	Počet svislic
0–0,5	5–6
0,5–1	6–7
1–3	7–12
3–5	13–16
>5	≥22

Tabulka 3. Minimální počet svislic při bodovém měření průtoku rychlostní metodou dle ISO 748 (2022).

Šířka koryta [m]	Počet svislic
0–0,5	≥15
0,5–5	≥20
>5	≥22

Aktuálně platná norma ISO 748 (2022) je oproti předchozím dvěma verzím výrazně přísnější (tedy požaduje větší minimální počet svislic), a to zejména u malých vodních toků do šířky 5 m. S dodržением velkého počtu svislic u velmi malých toků mohou být praktické problémy. Interval mezi jednotlivými svislicemi musí být větší než velikost samotné sondy použité k měření, a neměla by překračovat ani minimální rozestupy uvedené v technických specifikacích daného přístroje. Pokud tyto okolnosti neumožňují provést měření ani na minimálním počtu svislic dle tabulky 3, je přijatelné měřit na menším počtu svislic.

Zároveň je u všech verzí ISO 748 uvedeno, že by ideálně žádný dílčí průtok kolem jedné svislice neměl být vyšší než 5 % z celkového průtoku a rozhodně by neměl být vyšší než 10 % z celkového průtoku. U ISO 748 (2001) v případech měření na velmi malých a málo širokých tocích tento požadavek kolidoval s minimálními počty svislic uvedenými v tabulce 1. Nízký počet svislic, a tedy i nízký počet dílčích průtoků vylučuje hodnoty dílčích průtoků menší než zmíněných 10 % z celkového průtoku. Tento logický nesoulad je vyřešen v následující

aktualizaci ISO 748 (2007), kde je k požadavku o maximální velikosti dílčích průtoků připojen dovětek, který udává, že požadavek platí až pro toky s šířkou 5 a více metrů. U aktuálně platné ISO 748 (2022) se již výše zmíněný požadavek aplikuje na toky všech šířek.

### 2.1.2 Bodová měření na svislici

Norma ISO 748 zmiňuje jedno- a vícebodové metody měření rychlostí na svislici a následný výpočet průměrných rychlostí potřebných k výpočtu dílčích průtoků kolem každé svislice. Nejčastěji používané bodové metody jsou jednobodová, dvoubodová a trojbodová metoda, (dále v textu 1bodová, 2bodová a 3bodová) a detailněji se budu dále zabývat právě jimi.

1bodová metoda měření rychlosti na svislici spočívá v tom, že se rychlost proudění měří v bodě, který představuje 0,6násobek hloubky (tedy 0,4násobek ode dna) na dané svislici, počítáno od hladiny (rovnice 1). Naměřená hodnota rychlosti proudění je následně brána jako rovna průměrné rychlosti proudění na svislici. V tomto se všechny výše zmíněné verze ISO 748 shodují.

U 2bodové metody se na svislici měří rychlost proudění ve dvou bodech, všechny srovnávané verze ISO 748 shodně udávají měření v 0,2násobku a 0,8násobku hloubky od hladiny (ode dna). Průměrná rychlost se následně získává aritmetickým průměrem naměřených rychlostí (rovnice 2). ISO 748 (2022) zmiňuje ještě jednu variantu dvoubodové metody, a to tzv. Krepsovu metodu, u které se rychlost měří přímo u hladiny a v 0,62násobku hloubky bráno od hladiny. Výpočet průměrné rychlosti dle této metody je uveden v rovnici 3.

3bodová metoda počítá s měřením rychlosti proudění ve všech bodech jako v případě prvních 2 zmíněných metod, tedy 0,2násobku, 0,6násobku a 0,8násobku hloubky na dané svislici od hladiny. ISO 748 (2001) uvádí dvě možnosti výpočtu průměrné rychlosti na svislici. Jednou z nich je prostý aritmetický průměr všech 3 naměřených rychlostí, druhou je modifikovaný průměr, ve kterém má rychlost v 0,6násobku od hladiny dvojnásobnou váhu (rovnice 4). V ISO 748 2007 a 2022 je již uveden pouze průměr dle rovnice 4.

$$v_{pr} = v_{0,6} \quad (1)$$

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

$$v_{pr} = 0,31v_0 + 0,634v_{0,62} \quad (3)$$

$$v_{pr} = \frac{1}{4}(v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) \quad (4)$$

Kde  $v_{pr}$  je průměrná rychlost na svislici, číselný index značí násobek hloubky na svislici od hladiny a  $v_0$  značí rychlost přímo u hladiny.

Mezi vícebodové metody patří 5- a 6bodová metoda, u kterých se měří i rychlosti u dna, u hladiny, a ve hloubce 0,4násobku od hladiny (6bodová) (ISO 748, 2022). Jedná se o podrobnější měření použitelné třeba v případě, že máme podezření na nestandardní rozdělení rychlostí na svislici (jiné než parabolické). Mattas (2001) píše, že při měření v dobrých podmínkách proudění 3bodovou a 5bodovou metodou jsou přesnosti měření srovnatelné.

Norma ISO 748 na rozdíl od odborné literatury (např. Boiten, 2005) v žádné z uvažovaných verzí neuvádí doporučení, kterou bodovou metodu používat např. v závislosti na hloubce toku na měrné svislici.

### 3. Přístroj FlowTracker

#### 3.1 Historie a Dopplerův posun

FlowTracker ADV (*Acoustic Doppler Velocimeter*) je přístroj určený k měření rychlosti proudění a velikosti průtoku vodních toků, vhodný pro použití v laboratorních podmínkách i v terénu. Byl vyvinut firmou SonTek ve spolupráci s pracovníky USGS (*United States Geological Survey*) a představuje moderní alternativu k tradičně využívaným rychlostním metodám měření průtoku, hydrometrickým vrtulím. Princip využití FlowTrackeru a měření průtoku pomocí vrtule je v mnoha ohledech podobný, ale v samotném způsobu měření rychlosti proudění je zásadní rozdíl. Zatímco u hydrometrické vrtule se rychlost proudění vypočítává z počtu naměřených otočení propeleru vrtule, FlowTracker využívá k měření rychlosti proudění Dopplerův posun.

Dopplerův posun popisuje, že pokud zvuk pochází ze zdroje pohybujícího se vzhledem k přijímači, dochází k změně (posunu) frekvence zvuku registrovaného na přijímači (SonTek,

2019). Součástí FlowTrackeru je sonda, která vysílá krátké zvukové pulzy o známé frekvenci, a pomocí přijímačů následně měří odražený zvukový signál o změněné frekvenci. Zvukové signály se odrážejí od pevných částic, malých organismů a drobných bublin nacházejících se v toku. FlowTracker tedy prakticky neměří rychlost vodních částic, ale rychlost částic ve vodě suspendovaných. Jelikož se předpokládá, že rychlost částic ve vodě suspendovaných se rovná rychlosti okolních vodních částic, lze zjišťovat rychlost proudění tímto způsobem (SonTek, 2019).

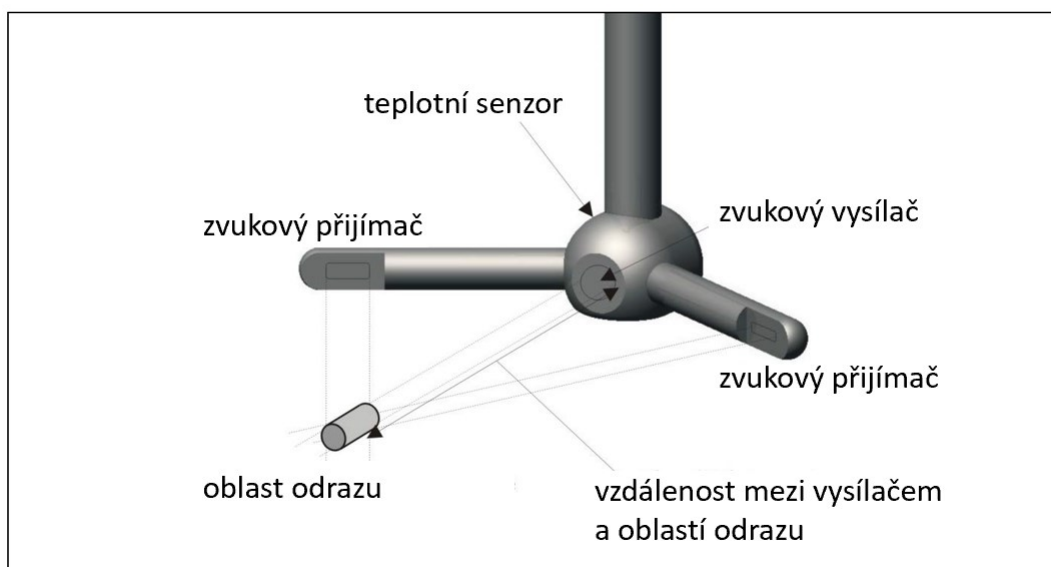
Přístroje a technologie ADV byly poprvé vyvinuty v 90. letech původně pro hydraulická měření v laboratoři (Rehmel, 2007). Předchůdcem přístroje FlowTracker je přístroj POC ADV, kde zkratka POC v jeho názvu znamená *proof-of-concept*. Tento přístroj sloužil jako jeden z prvních pokusů o použití Dopplerova posunu při měření průtoku a představoval obhajobu celého konceptu. Sestával ze sondy spojené s tubusem s elektronikou, napojené na soutyčí, externího zdroje energie a ručního počítače. Použití takového přístroje bylo možné, ale značně nepraktické. Prototyp druhé generace již svým vzhledem a technologií připomíná moderní FlowTracker. Tento prototyp byl testován v lednu 2001 v Indianě během paralelních měření s hydrometrickými vrtulemi typu Price (tradičně používané USGS) na 7 USGS profilech. Výsledky měření pomocí prototypu byly podobné jako výsledky naměřené pomocí hydrometrické vrtule. Následně proběhlo i testování v hydraulické laboratoři USGS, kde byl prototyp tažen nádrží se stojatou vodou zvolenou rychlostí mezi 3,5–152,4 cm/s (Morlock a Fisher, 2002).

### 3.2 Popis přístroje FlowTracker

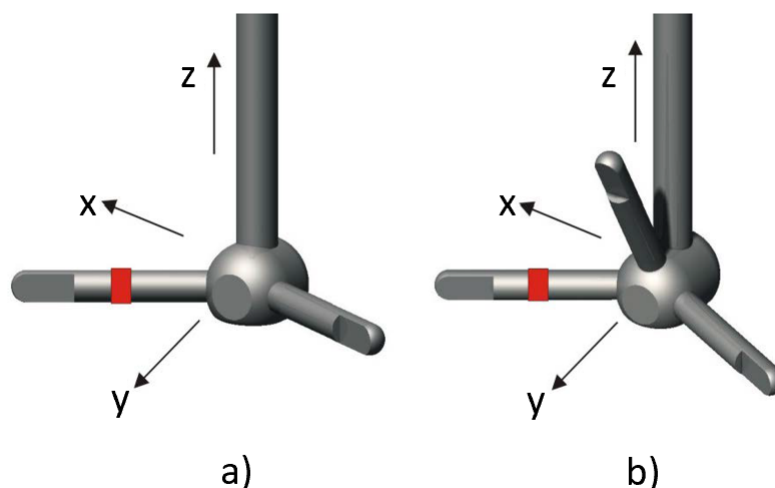
Nejnovější verzi přístroje je FlowTracker2 Handheld-ADV, který je na trhu od roku 2015. Lze pořídit přístroj s 2D nebo s 2D/3D sondou. Všechna měření provedená v rámci této práce byla provedena přístrojem FlowTracker2 Handheld-ADV s 2D/3D sondou, který je ve vlastnictví Ústavu hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky Přírodovědecké fakulty UK. FlowTracker se skládá ze samotné sondy, počítače s barevným displejem a klávesnicí, a 1,5 m dlouhého kabelu propojujícího sondu s počítačem. Přístroj je napájen 8 AA bateriemi, které se umísťují do vysunovatelného zásobníku s vodotěsným závitem (SonTek, 2019). Sonda i počítač mohou být následně připevněny na pohyblivé soutyčí, standardní dle USGS, na kterém je ryskami znázorněna délka – jednoduchá ryska každé 2 cm, dvojitá ryska každých 10 cm a trojitá ryska každých 50 cm.



2D/3D sonda má 1 zvukový vysílač a 3 zvukové přijímače. Z vysílače se vyšle zvukový signál, který se následně v určité vzdálenosti odraží od částic suspendovaných ve vodě do všech směrů. Malá část odražených zvukových signálů je následně zachycena přijímači. Oblast odrazu, v angličtině *sampling volume*, je válec o průměru 6 mm a délce 9 mm a nachází se přibližně 10 cm od středu vysílače sondy (obr. 2). Naměřené rychlosti vypočítané ze změněných frekvencí díky Dopplerovu posunu jsou převedeny do kartézské soustavy souřadnic, jejíž osy vůči sondě jsou zobrazeny na obrázku 3. Během výroby je geometrie každé sondy přesně zjištěna během kalibračního procesu a pokud nedojde k mechanickému poškození sondy, není třeba ji již znovu kalibrovat. Součástí sondy je i teplotní senzor, který měří teplotu vody. Tato informace slouží k měření rychlosti proudění, protože rychlost zvuku ve vodě je na teplotě závislá (SonTek, 2019). Souřadnice x z rychlostí zobrazených v soustavě je použita na následný výpočet průtoku, souřadnice y a z slouží jako kontrola správnosti měření (např. kontrola úhlu proudění vody vzhledem k orientaci sondy) (Morlock a Fisher, 2002). V případě, že se třetí přijímač u 2D/3D sondy nachází nad hladinou (což se stává u měření ve velmi malých hloubkách), jsou výstupy z tohoto přijímače automaticky ignorovány (B. Macone z firmy Xylem, pod kterou spadá SonTek, email, 2021).



Obr. 2. Znárodnění stavby 2D sondy přístroje FlowTracker s oblastí odrazu (upraveno dle SonTek, 2019).



Obr. 3. Kartézská soustava souřadnic orientovaná vzhledem k a) 2D sondě a b) 2D/3D sondě (upraveno dle SonTek, 2019).

FlowTracker2 je uzpůsoben k měření rychlostí v rozmezí 0,001–4 m/s (SonTek, 2019). Jednou z jeho velkých výhod oproti hydrometrickým vrtulím je právě fakt, že je toto rozmezí tak velké. Přístroj tak dokáže změřit i rychlosti, které jsou již pro hydrometrickou vrtuli neměřitelné (Šebová et al., 2010), případně by na jejich změření bylo potřeba více různě velkých vrtulí nebo více různě kalibrovaných propelerů. Maximální hloubka měření pomocí FlowTrackeru je dle technických specifikací (SonTek, 2019) 10 m a minimální hloubka měření 0,02 m. Během měření se sondou připojenou na soutyčí jde ovšem měřit pouze v hloubkách ne menších než 4–5 cm, protože na patě soutyčí je pružina, která brání sondě dostat se do nižší polohy. Toto opatření prakticky snižuje použitelnost přístroje ve velmi malých hloubkách, zároveň ale zmenšuje riziko poškození sondy kvůli kontaktu s nerovným povrchem dna koryta.

### 3.3 Popis měření

#### 3.3.1 Zvolení režimu měření, nastavení šablon

Přístroj má 2 režimy měření. Prvním je *general mode* pro prosté měření rychlosti proudění a jejích prostorových složek v případě, že kompletní měření průtoku není potřeba. Pro vlastní měření průtoku je určen druhý režim, *discharge mode*, který jsem využívala při měření v této práci. Při zahájení nového měření se zvolí, který režim měření bude použit. Následně se vybere šablona, podle které bude měření probíhat. V přístroji je výchozí šablona pocházející z továrního nastavení, ale lze vytvořit množství šablon vlastních. V nové šabloně se dají ručně

přenastavit parametry měření jako výchozí metoda výpočtu průtoku, volba bodové metody na základě hloubky v místě měření nebo délky jednotlivých bodových měření. Zároveň lze nastavit hranice pro kontrolu kvality měření, při jejichž překročení přístroj vydá varování, např. maximální procentuální velikost dílčího průtoku kolem svislice nebo maximální velikost úhlu mezi proudnicemi a předpokládaným směrem proudění kolmým na měrný profil (SonTek, 2019).

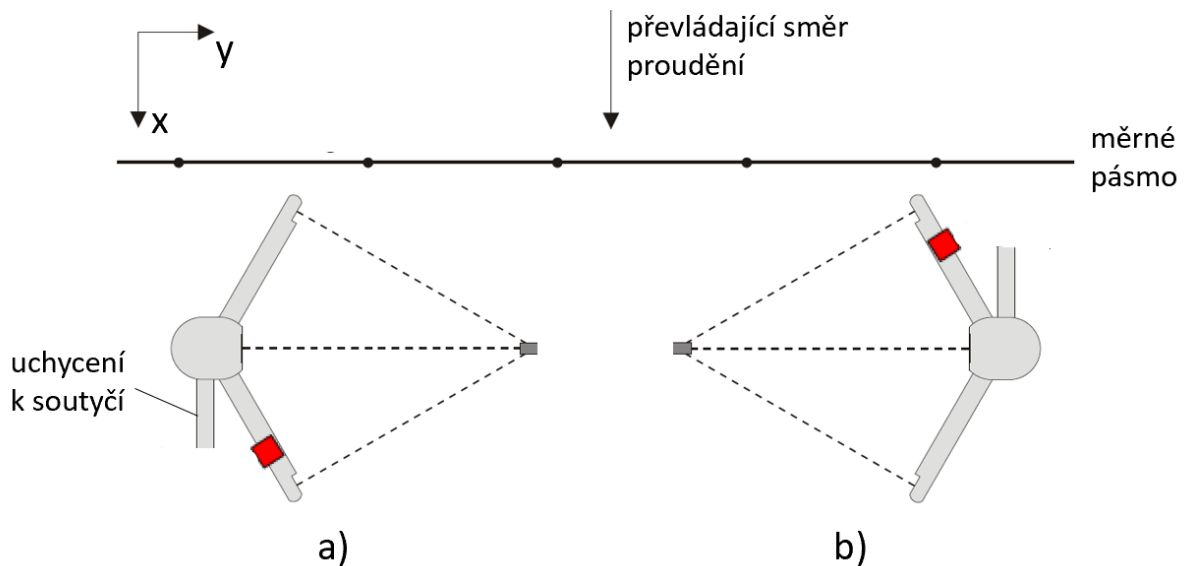
FlowTracker k výpočtu průtoku nabízí 3 způsoby. Středovou metodu (*mid-section method*), průměrovou metodu (*mean-section method*) a japonskou metodu (*japanese method*). Nejčastěji využívané jsou první dvě metody. Japonská metoda je specifická tím, že se v každém bodě provádí měření dvakrát místo jednou, a ve své práci se jí dále nezabývám. Podrobný popis průměrové a středové metody je v kapitole 4.1. Ve výchozím nastavení přístroje je středová metoda (SonTek, 2019).

Po zvolení šablony se do přístroje zadají základní metadata o měření, jako identifikace místa, jméno operátora a případné poznámky. Následně je doporučeno provést tzv. *Automated Beam Check*, během kterého se sonda umístí do měřeného toku, kde vysílá zvukové signály a měří, jestli je množství suspendovaných pevných částic dostatečné pro provedení dobrého měření (SonTek, 2019). Pokud proběhla zkouška v pořádku, může se rovnou přistoupit k měření, v případě, že zkouška selže, může se opakovat, případně je nutné najít takový profil, na kterém budou podmínky pro měření vhodnější.

### 3.3.2 Průběh samotného měření

Vlastní měření probíhá jako u mnoha rychlostních metod v bodech na svislicích. Na začátku měření se zadá první svislice břehového typu, na které ovšem ještě neprobíhá měření rychlosti. Břehová svislice slouží především k určení velikosti dílčí průtočné plochy u břehů. U břehové svislice se zadává typ břehu (levý/pravý), lokace svislice vzhledem k měrnému pásmu (tedy tradičně začátek pásma, ale případně i jeho konec), hloubka a korekční faktor. Hloubka se odečítá buď ručně za pomoci rysek přítomných na soutyčích, případně lze provést měření hloubky pomocí tlakového senzoru. Korekční faktor je parametr, kterým se násobí průměrná rychlost. Může nabývat velikosti od -1 do 1 (mimo 0), a v některých případech je přístrojem přednastaven, v jiných ho zadává operátor ručně (např. u břehových svislic). Pokud je sonda při měření v klasické pozici, je obvykle korekční faktor 1, je ale možné měřit i se sondou otočenou o 180°, například při měření blízko břehu nebo nějaké překážky (obr. 4), v takovém

případě je nutné zadat korekční faktor -1. Korekční faktor jiný než 1 je použit i v případě, že se měří pod ledem 5bodovou nebo 6bodovou metodou. V takových případech je korekční faktor pro 5bodovou metodu 0,88 a pro 6bodovou metodu 0,92 (SonTek, 2019).



Obr. 4. Orientace sondy vzhledem k převládajícímu směru proudění, a) klasická pozice, b) otočení o 180°, pohled shora (upraveno dle SonTek, 2019).

Po zadání břehové svislice se zadá další, tentokrát už měrná svislice, a to ve zvolené vzdálenosti od první svislice. Vzdálenosti mezi sousedícími svislicemi si operátor volí nejčastěji podle šířky měrného profilu tak, aby byl počet svislic dostatečný dle aktuálně platné normy ISO 748. Interval vzdálenosti mezi sousedícími svislicemi si přístroj po prvním zadání pamatuje a u dalších svislic rovnou nabízí vzdálenost, do které svislice umístit. Minimální vzdálenost mezi dvěma svislicemi není v manuálu (SonTek, 2019) uvedena. Dle normy ISO 748 (2022) se píše, že vzdálenost mezi sousedícími svislicemi by neměla být menší než šířka senzoru. Vzhledem k tomu, že u FlowTrackeru se oblast měření nachází mimo vlastní konstrukce přístroje, domnívám se, že minimální rozestup není relevantní.

V závislosti na hloubce toku přístroj v továrním nastavení sám navrhuje, jestli použít na svislici 1, 2 či 3bodové měření. V případě tvorby vlastní šablony lze zvolit i 5bodovou, 6bodovou a Krepsovu metodu. Výchozí šablona nabízí do hloubek 0,5 m jednobodové měření, ale u každé nové svislice lze na začátku měření bodovou metodu ručně přenastavit. V závislosti na zvolené metodě se měří v 1 nebo ve více hloubkových bodech. Podrobný popis jednotlivých metod včetně výpočtu průměrných rychlostí uvádím v podkapitole 2.1.2. Zatímco u měření hydrometrickou vrtulí si operátor musí sám vypočítat hloubky, ve kterých měřit, FlowTracker

všechny body vypočítá sám a napovídá operátorovi, do jaké hloubky sondu posunout. Manipulovat se sondou na soutyčí je uživatelsky velice příjemné, jelikož je připevněna na pohyblivou tyč, kterou lze dle potřeby jednoduše posouvat.

Poté, co je sonda umístěna do požadované hloubky, je orientovaná správně vzhledem ke směru proudění, a soutyčí je drženo kolmo k vodní hladině (orientaci sondy hlídají senzory úhlu a náklonu, které lze na obrazovce ručního počítače před zahájením měření zkontrolovat), je možné zahájit samotné měření rychlosti suspendovaných pevných částic. Délka jednoho měření je ve výchozím nastavení 40 s, přičemž jde v šablonách nastavit v rozmezí 10–1000 s (SonTek, 2019). Podobně jako u měření jinými přístroji upevněnými na soutyčí by mělo být postavení operátora v toku takové, aby neovlivňovalo charakter proudění v místě měření, tzn. postavení diagonálně proti proudu vůči sondě a soutyčí držet na vzdálenost paže (Boiten, 2005).

Každé bodové měření lze v případě potřeby kdykoli před ukončením měření celého profilu zopakovat. Po uplynutí každého bodového měření přístroj provede kontrolu kvality daného měření, a v případě překročení předem nastavených parametrů ukáže varování. Mezi častá varování patří např. příliš mnoho *spiků* (tedy výrazných odchylek rychlosti v průběhu měření), nízký *Signal to Noise Ratio* (značící málo suspendovaného materiálu, a tedy nízkou odrazivost) nebo *Velocity Angle* (příliš velký úhel mezi převládajícím směrem proudění a orientací sondy (Son Tek, 2019)). Při opakovaném měření lze často tato varování odstranit.

Při přechodu z jedné svislice na druhou se FlowTracker snaží optimalizovat první bod měření na nové svislici tak, aby minimalizoval posun sondy ve vertikálním směru a tím uspořil čas. Tedy vybírá takový bod, který je hloubkově co nejbližší poslednímu bodu na předchozí svislici. Na jedné svislici se tak měří například odshora dolů a na následující naopak (SonTek, 2019).

Přístroj v průběhu měření počítá dílčí průtoky vztahující se k jednotlivým svislicím a barevně je znázorňuje v závislosti na jejich procentuálních velikostech vzhledem k celkovému průtoku. V továrním nastavení přístroje jsou dílčí průtoky menší než 5 % celkového průtoku ideální a označené zeleně, dílčí průtoky představující 5–10 % celkového průtoku jsou označené žlutě (manuál doporučuje přidat další měrnou svislici) a dílčí průtoky s velikostmi nad 10 % celkového průtoku jsou označené červeně. Toto rozdělení je založené na normě ISO 748 (viz. podkapitola 2.1). Příklady barevně rozdělených dílčích průtoků jsou na obr. 5.



Obr. 5. Barevné rozlišení procentuálních velikostí dílčích průtoků vzhledem k celkovému průtoku. Zelená do 5 %, žlutá 5–10 % a červená nad 10 %. Výstup ze softwaru FlowTrackeru, profil Loděnice.

### 3.3.3 Ukončení měření, následné úpravy

Po proběhnutí všech měření a zadání poslední břehové svislice již může přístroj vypočítat celkový průtok. Měření se ukončuje zvolením *Complete Measurement*. Tato volba ukládá proběhlé měření do paměti přístroje a další změny už nejsou v tuto chvíli možné. Ještě před uložením měření lze ovšem pomocí funkce *Discharge Summary* měření zkontrolovat. Zobrazí se všechny důležité charakteristiky a parametry měření, jako je výsledný průtok, šířka a průměrná hloubka profilu, plocha průtočného profilu, minimální, průměrná a maximální rychlost proudění a nejistota měření. Funkci *Discharge Summary* je možné použít i kdykoli v průběhu měření (SonTek, 2019).

Uložená měření lze zpětně nahlédnout jak na obrazovce samotného přístroje, tak i v přidruženém počítačovém softwaru. Software je velice užitečný, protože jsou v něm vidět všechny zadané a naměřené parametry pro každou svislici i bodové měření, a lze z něj tyto údaje exportovat. Vykresluje také řadu názorných grafů popisující průtočný profil a měření např. z pohledu velikosti dílčích průtoků a rychlostí, počtu *spiků* (výrazných odchylek měření), velikosti náklonu sondy nebo odrazivosti zvukového signálu. U vícebodových měření na svislici lze v některých případech jednotlivá bodová měření vypínat a přepočítat výsledný průtok. Takto lze např. u 3bodové metody vypnout měření v 0,6násobku od hladiny a získat měření 2bodovou metodou. Nelze ovšem obdobným způsobem získat ze 3bodové metody metodu 1bodovou, protože program nedovolí u 3bodového měření „vypnout“ měření v hloubce 0,2 a 0,8násobku hladiny. V softwaru lze měnit i metody výpočtu průtoků (průměrová a středová).

### 3.4 Přesnost měření

Výsledná přesnost měření závisí na dílčích přesnostech naměřených nebo odečtených veličin (hloubka na svislici, vzdálenost od břehu a rychlost proudění), na typu, kalibraci a rozsahu použitého přístroje, na zvolené bodové metodě, počtu měrných svislic, charakteru koryta a dna a také na délce měření (Boiten, 2005). Při provádění měření mohou zároveň nastat různé problémy, které přesnost výsledků ovlivňují. Jedná se např. o změny v charakteru proudění během měření, silný vítr ovlivňující pohyb vody v blízkosti hladiny nebo přítomnost velkého množství suspendovaného materiálu komplikujícího měření. Přesnost měření zásadně ovlivňuje i postup a pečlivost operátora, kdy chybná manipulace s přístrojem, případně měření mimo rozsah rychlostí, na které je přístroj kalibrován (ISO 748, 2022).

K hodnocení přesnosti měření se používají výpočty nejistoty měření. Takovým dlouho zavedeným výpočtem je rovnice ISO (ISO 748, 2022) používaná pro zjištění nepřesnosti měření hydrometrických vrtulí (a také FlowTrackeru). Alternativu k výpočtu ISO představuje metoda IVE - Interpolated Variance Estimator (Cohn et al., 2013). Oba výpočty jsou si podobné, protože výpočet IVE částečně vychází právě ze vzorce nacházejícího se v normě ISO 748. FlowTracker nabízí při výpočtu nepřesnosti měření právě tyto dvě metody.

Nejistoty vztahující se ke každé svislici, tedy hloubka, vzdálenost od břehu, zvolená bodová metoda a rychlost proudění, jsou následně vážené velikostí průtoku na dané svislici. U metody ISO jsou hodnoty nejistoty tabulkově dané vzhledem k velikostem jednotlivých komponent. IVE metoda u hloubky a rychlosti proudění používá ke zjištění nejistoty výpočet jejich očekávaných velikostí, jelikož předpokládá pozvolné změny těchto charakteristik toku v průběhu průtočného profilu. Výslednou nejistotou je pak rozdíl velikosti vypočteného předpokladu a naměřené skutečnosti. Při porovnání těchto dvou metod se IVE ukazuje jako metoda lépe hodnotící kvalitu měření, protože přihlíží i k velkým změnám charakteristiky koryta a rychlosti v průběhu průtočného profilu (Huhta a Sloat, 2007). Výchozí metodou pro výpočet nejistoty měření u FlowTrackeru je metoda IVE (SonTek, 2019).

#### 3.4.1 Srovnání přesnosti Flowtrackeru s jinými metodami

U rychlostních metod založených na měření na svislicích (tedy např. hydrometrická vrtule nebo FlowTracker) se za dobré považuje měření, které má nejistotu do 5 % (Mattas, 2001; Huhta a Sloat, 2007). Při hodnocení FlowTrackeru jako spolehlivé metody měření průtoku se dá přihlídnout k nejistotám, které spočítá sám přístroj. Zároveň existuje několik odborných článků

srovnávajících FlowTracker s jinými metodami, jako jsou hydrometrická vrtule nebo indikátorová metoda.

Při srovnávání FlowTrackeru s hydrometrickou vrtulí byla prováděna měření, kdy na stejném profilu na stejně umístěných svislicích a stejnou bodovou metodou byla provedena měření vrtulí a FlowTrackerem. Rehmel (2007) popisuje srovnání FlowTrackeru s Price vrtulemi v 55 měřeních provedených na měrných profilech USGS, přičemž u většiny měření byly rozdíly velikostí průtoku mezi vrtulemi a FlowTrackerem do 5 %, ale u toků s turbulentnějším prouděním docházelo k měřením s rozdílem přes 8 %. Šebová et al. (2010) provedla komparativní měření s FlowTrackerem a hydrometrickou vrtulí na toku Vydrice a rozdíly mezi velikostmi průtoku naměřenými pomocí obou metod byly minimální. Zároveň píše, že během měření nastaly situace, při kterých už byly rychlosti proudění pro vrtulí na rozdíl od FlowTrackeru neměřitelné. Ji et al. (2013) provedl na 1 profilu během 2 hodin několik měření pomocí 2 typů hydrometrických vrtulí, FlowTrackeru a přístroje ADCP. Velikosti průtoku naměřené vrtulemi i FlowTrackerem byly velmi podobné, měly mezi sebou rozdíly do 2 %, ale přístroj ADCP dosahoval mírně vyšších hodnot průtoku, a rozdíly této metody vzhledem k ostatním byly do 9 %. Schugerl et al. (2019) porovnával na řece Hron měření průtoku FlowTrackerem s měřením pomocí indikátorové metody, konkrétně měřením solí. FlowTracker dosahoval stabilně nižších hodnot průtoku než měření solí, nicméně mimo jedno měření nepřekračovaly rozdíly mezi průtoky 5 %. Dle bakalářské práce Tučanové (2021), která porovnávala měření vrtulí, FlowTrackerem, plovákovou metodou a indikátorovou metodou solí, se jevil FlowTracker jako metoda poskytující nejpřesnější výsledky.

#### 4. Terénní práce – popis měření

V praktické části práce jsem pomocí přístroje FlowTracker provedla měření průtoku na několika tocích, abych zjistila, jak se liší výsledné hodnoty průtoku, pokud na jednom měrném profilu měřím postupně dle rozdílně přísných technických norem měření – tedy podle aktuálně platné normy ISO 748 (2022) a podle dvou jejích předchůdkyň, ISO 748 (2007) a ISO 748 (2001). V podkapitole 2.1 detailně popisuji, jak se tyto verze ISO 748 liší, zejména se jedná o rozdílné minimální počty svislic potřebné k měření průtoku v závislosti na šířce toku. Při měření jsem se zaměřila právě na tyto rozdíly. Zároveň jsem zjišťovala, jak se liší výsledné velikosti průtoku, pokud se k jejich výpočtu používá průměrová, nebo středová metoda výpočtu



průtoku. Dále jsem určovala, zda a jak se liší průměrné rychlosti proudění potřebné k vypočítání dílčích průtoků, pokud jsou stanoveny 1bodovou, 2bodovou, nebo 3bodovou metodou.

#### 4.1 Metodika měření

Veškerá měření v rámci této práce jsem provedla přístrojem FlowTracker2 Handheld-ADV s 2D/3D sondou od výrobce SonTek. Přístroj byl upevněn na 1,5 m dlouhém pohyblivém kovovém soutyčí. Měření probíhala podle výchozí šablony, pouze délka jednoho bodového měření byla zkrácena ze 40 s používaných v původním nastavení na 30 s, což je minimální časový požadavek na délku bodového měření dle všech verzí normy ISO 748. K označení měrného profilu, stejně jako k odečítání vzdáleností svislic od břehu, jsem použila běžné měrné pásmo. Hloubky na svislici jsem odečítala ručně pomocí kovového soutyčí FlowTrackeru, možnost automatického tlakového měření hloubek přístrojem jsem nevyužila. K vyhodnocení dat jsem použila přidružený počítačový software FlowTracker2 v1.6 a tabulkový procesor Microsoft Excel.

Měření jsem prováděla na tocích menších vodností a šířek, protože u toků s šířkami nad 5 m jsou rozdíly v minimálním počtu svislic u jednotlivých verzí normy ISO 748 malé nebo žádné. Vybírala jsem takové měrné profily, aby co nejlépe odpovídaly doporučením, která udávají odborné zdroje pro měření průtoku rychlostní metodou (popsané v kapitole 2). Ve většině případů jsem měřila v blízkosti vodoměrných stanic Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ), které kontinuálně snímají velikosti průtoku a v rámci Hlásné a předpovědní povodňové služby je zveřejňují na internetu, a tudíž je možné kontrolovat, že se během měření nemění vodní stav, a tedy ani průtok.

Po vytipování měrného profilu jsem v jeho místě napnula měrné pásmo. Následně jsem z pásma odečetla šířku toku, a podle ní pak určila počty svislic, které použít pro měření průtoku. Tabulky s minimálními počty svislic všech tří výše zmíněných verzí normy ISO 748, které jsem používala, se nachází v podkapitole 2.1.1. Mezi tyto počty svislic nepočítám břehové svislice, protože na nich nedochází k měření rychlosti, tudíž výsledný počet svislic i s břehovými je roven minimálnímu počtu svislic dle normy plus dva. Pokud bylo v tabulce uvedeno rozpětí počtu svislic, použila jsem počet odpovídající spodní hranici rozpětí. Dle zvoleného počtu svislic jsem pak určila velikost délkového intervalu, který bude mezi sousedními svislicemi, tak, aby umístění jednotlivých svislic na měrném profilu bylo rovnoměrné.

Boiten (2005) doporučuje na svislicích s hloubkami do 25 cm použít 1bodové měření, u hloubek 25–50 cm 2bodové měření a nad 50 cm 3bodové měření. Jelikož bylo ale jedním z mých cílů zhodnotit rozdíly mezi jednotlivými bodovými metodami měření, a protože norma ISO 748 počet bodů na svislici nepředepisuje, používala jsem 3bodovou metodu u všech hloubek nad 25 cm a u hloubek do 25 cm 1bodovou metodu. Měření 3bodovou metodou v malých hloubkách by bylo vzhledem k technicky omezené možnosti posunu sondy na soutyčí níže než 4–5 cm ode dna těžce proveditelné. Z 3bodového měření jsem při následné analýze dat mohla buď v softwaru k FlowTrackeru nebo v Excelu získat 2bodová a 1bodová měření, protože 3bodová metoda měří rychlosti v totožných hloubkách jako 1bodová (prostřední měření) a 2bodová (krajní měření) dohromady. Podrobný popis jednotlivých bodových metod a rovnice sloužící k výpočtu průměrných rychlostí se nachází v podkapitole 2.1.2.

K výpočtu průtoku jsem použila středovou a průměrovou metodu. Středová metoda spočívá v součtu dílčích průtoků, které se získají vynásobením dílčí průtočné plochy a průměrné rychlosti na svislici nacházející se ve středu dané průtočné plochy, a je popsána rovnicí (SonTek, 2019; ISO 748, 2022, 5):

$$Q = \sum v_0 d_0 \left( \frac{b_1 - b_0}{2} \right) + v_1 d_1 \left( \frac{b_2 - b_0}{2} \right) + v_n d_n \left( \frac{b_{n+1} - b_{n-1}}{2} \right) \quad (5)$$

kde  $v$  značí průměrnou rychlost na svislici,  $d$  je hloubka na svislici a  $b$  je vzdálenost svislice od břehu. Dolní index značí použitou svislici, přičemž svislice s nulovým indexem je svislicí břehovou. Jelikož se na břehových svislicích neměří rychlosti proudění, jsou jim přiřazeny průměrné rychlosti naměřené na s nimi sousedících svislicích. Pokud je na břehové svislici nulová hloubka, dílčí průtok patřící této svislici je také nulový.

Průměrová metoda se liší od té středové tím, že k výpočtu dílčích průtoků násobí průměrnou rychlost na dvou sousedících svislicích a dílčí průtočnou plochu nacházející se mezi nimi. Středová metoda výpočtu průtoku je popsána rovnicí (SonTek, 2019; ISO 748, 2022, 6):

$$Q = \sum (b_1 - b_0) \left( \frac{d_1 + d_0}{2} \right) \left( \frac{v_1 + v_0}{2} \right) + (b_2 - b_1) \left( \frac{d_2 + d_1}{2} \right) \left( \frac{v_2 + v_1}{2} \right) + (b_{n+1} - b_n) \left( \frac{d_{n+1} + d_n}{2} \right) \left( \frac{v_{n+1} + v_n}{2} \right) \quad (6)$$

#### 4.2 Popis měrných profilů a měření

Celkově jsem provedla 19 měření na 7 různých měrných profilech (obr. 6), jejichž šířka se pohybovala od 1,35 m do 8,45 m. V závislosti na šířce profilů se zpravidla minimální počet svislic u všech tří verzí normy ISO 748 lišil, a v takovém případě jsem udělala na jednom profilu 3 různá měření s různým počtem svislic. U profilů s šířkou větší než 5 m, tedy na Botiči a na Loděnici, se minimální počet svislic dle dvou verzí normy (2007 a 2022) shodoval. V takových případech jsem pro shodný počet svislic provedla jen 1 měření a výsledek jsem přiřadila oběma normám. Průtok dle vodoměrné stanice v průběhu měření byl v rozmezí od 0,0703 m<sup>3</sup>/s do 0,535 m<sup>3</sup> (tabulka 4). Jednotlivé měrné profily popisují detailně v následujících kapitolách.

*Tabulka 4. Jednotlivé toky a profily, jejich lokalita, průtok dle vodoměrné stanice ČHMÚ, šířka profilu a minimální počet svislic dle ISO 748 (2001, 2007 a 2022).*

<b>Tok</b>	<b>Lokalita</b>	<b>Měrný profil</b>	<b>Průtok dle vodoměrné stanice [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Šířka toku [m]</b>	<b>Počet svislic dle ISO 748 2001</b>	<b>Počet svislic dle ISO 748 2007</b>	<b>Počet svislic dle ISO 748 2022</b>
Botič	Praha - Nusle	-	0,535	8,45	10	22	22
Loděnice	Loděnice	-	0,418	5,75	10	22	22
Litovický potok	Praha - Jiviny	úzký	0,0703	1,35	5	7	20
		široký		3,25	8	13	20
Žehrovka	Březina	-	0,0954	4	8	13	20
Mohelka	Dolní Rychnov	horní	neznámý	1,75	5	7	20
		spodní		2,9	5	7	20



Obr. 6. Fotografie měrných profilů, a) Botič, b) Loděnice, c) Litovický potok (úzký), d) Žehrovka, e) Mohelka (horní), f) Mohelka (spodní).

#### 4.2.1 Botič (Praha – Nusle)

Dne 18.11.2022 jsem se svým školitelem měřila průtok na toku Botič. Místo měření (obr. 6a) bylo u můstku pro pěší nacházejícího se pod Nuselským mostem. V blízkosti měrného profilu se na souřadnicích 50.0665444 s.š. a 14.4297835 v.d. nachází vodoměrná stanice ČHMÚ (číslo hydrologického pořadí 1-12-01-0200-2-00). V průběhu celého měření se dle údajů z vodoměrné stanice dostupných online průtok neměnil, a dosahoval hodnoty 0,535 m<sup>3</sup>/s. Proti proudu od měrného profilu je dlouhý přímý úsek toku, a po proudu od měrného profilu se na úrovni vodoměrné stanice nachází výškový stupeň. Charakter proudění v místě měření se zdá být laminární, dno a břehy koryta jsou velice antropogenně ovlivněny a jsou tvořeny hrubě opracovaným kamenným dlážděním. V měrném profilu se nenachází žádná vegetace nebo překážky proudění, které by nešly přemístěním odstranit (překážky toku tvořily především odpad či menší kameny).

Šířka měrného profilu byla 8,45 m. U takové šířky toku je dle ISO 748 (2001) minimální počet měrných svislic 10 a dle ISO 748 (2007) i (2022) shodně 22 svislic, a proto jsem provedla 2 nezávislá měření. Rozestupy svislic nejsou v celém měrném profilu stejné, svislice blízko břehů v oblasti pomalého proudění a předpokládaných malých dílčích průtoků mají mezi sebou větší délkové intervaly než svislice ve středu profilu. Touto skutečností se měření na Botiči drobně odlišuje od ostatních provedených měření, protože se jednalo o vůbec první měření v rámci práce a metodika ještě nebyla ustálena. Maximální hloubka na svislici byla 0,45 m. U 22svislicového měření jsem na 16 svislicích (0,25 m a hlubší) provedla měření 3bodovou metodou, u 10svislicového měření to bylo na 6 svislicích. Na zbylých svislicích (do 0,25 m) jsem měřila 1bodovou metodou. Stejně rozdělení na měření 1bodovou a 3bodovou metodou jsem aplikovala i u následujících měření na ostatních profilech.

#### 4.2.2 Loděnice (Loděnice)

Dne 24.2.2023 jsem měřila průtok na měrném profilu na toku Loděnice. Místo měření (obr. 6b) se nacházelo vedle dálnice D5 v blízkosti vodoměrné stanice Loděnice (49.9930848 s.š. a 14.1607808 v.d., číslo hydrologického pořadí 1-11-05-0270-0-00). Velikost průtoku byla dle vodoměrné stanice během měření neměnná, a to 0,418 m<sup>3</sup>/s.

Měrný profil se nacházel na přímém, stabilně širokém korytě toku, přičemž cca 10 m pod měrným profilem se nacházel výškový stupeň. Dno koryta toku bylo tvořeno jílovito-kamenitým pokryvem, hloubka profilu se se vzdáleností od břehu příliš nemění. V blízkosti

měrného profilu se nenacházely žádné velké překážky, které by mohly výrazně ovlivnit proudění. U břehu místy zasahují do toku kořeny a větve příbřežních stromů, ale v místě měrného profilu nijak nekomplikovaly měření. Proudění v místě měření bylo laminární. Šířka měrného profilu byla 5,75 m, podobně jako u prvního měření na Botiči jsou minimální počty svislic 10 (ISO 748, 2001) a 22 (ISO 748 2007 a 2022). Intervaly mezi jednotlivými svislicemi v rámci jednoho měření jsou stejné. Maximální hloubka na svislici byla 0,42 m a průměrná hloubka byla 0,36 m, rychlosti na všech měrných svislicích u obou měření byly změřeny 3bodově.

#### 4.2.3 Litovický potok (Praha – Jiviny)

Dne 24.3.2023 jsem provedla 6 nezávislých měření průtoku na dvou měrných profilech na Litovickém potoce. Oba měrné profily se nacházely na toku vytékajícím z retenční nádrže Jiviny, místo měření (úzký profil) je na obr. 6c. Na toku se nalézá vodoměrná stanice Praha – Jiviny (50.0803693 s.š. a 14.3027513 v.d., číslo hydrologického pořadí 1-12-02-0040-0-00), během celého měření byla velikost průtoku dle vodoměrné stanice 0,0703 m<sup>3</sup>/s. Na toku jsem vytyčila 2 profily, úzký profil bližší retenční nádrži, a široký profil nacházející se cca 30 m po proudu od úzkého profilu. Oba profily se nacházely na přímém úseku toku.

Úzký profil měl částečně oderodované betonové koryto, a břehy toku byly mírně podemleté, takže pod oběma břehy vznikl prostor, kterým protékala voda, ale nebylo možné ji FlowTrackerem změřit. Břehová vegetace nijak nezasahovala do vodního toku, v korytě se nenacházely nepřemístitelné překážky proudění a charakter proudění byl blízký laminárnímu. Šířka profilu byla 1,35 m, což dle tabulek odpovídá minimálnímu počtu 5, 7 a 20 svislic (ISO 748 2001, 2007 a 2022). Rozestupy mezi svislicemi byly v rámci jednotlivých měření shodné, u měření s největším počtem svislic jsem nakonec kvůli chybně vypočítanému intervalu měřila na 21 svislicích místo na 20. Maximální hloubka na svislici byla 0,3 m, 3bodovou metodu jsem u 21svislicového měření použila na 9 svislicích, u 7svislicového měření na 4 svislicích a u 5svislicového měření na 2 svislicích.

Široký profil se vyznačoval pozvolným nárůstem hloubky od břehů směrem do středu profilu přibližně do třetiny délky celého profilu a výrazným zvýšením hloubky v prostřední třetině profilu. Dno profilu bylo tvořeno zbytky betonových desek a štěrkem s oblázky. Ze břehů zasahovaly na některých místech do toku kořeny okolo stojících stromů a větve nízkých křovin, nicméně přímo v místě profilu vegetace do toku nezasahovala. Proudění se ve středu profilu

zdálo laminární, u břehů rychlost proudění viditelně klesala až do téměř stojaté vody. Šířka profilu byla 3,25 m, dle posledních tří verzi normy 748 byl minimální počet svislic 8, 13 a 20 svislic. V rámci jednotlivých měření byly rozestupy mezi svislicemi stejné. Maximální hloubka naměřená v profilu byla 0,42 m, a 3bodovou metodou jsem u 20svislicového profilu měřila na 6 svislicích, u 13svislicového profilu na 4 svislicích a u 8svislicového profilu na 2 svislicích.

#### 4.2.4 Žehrovka (Březina)

31.5.2023 jsem měřila na toku Žehrovka. Měření proběhlo v rámci Terénního kurzu z hydrogeologie a hydrologie, a nezávislá měření provedli pod mým dohledem studenti tohoto kurzu. Místo měření se nacházelo pod železničním mostem (obr. 6d) v blízkosti vodoměrné stanice Březina (50.5490339 s.š. a 15.0426813 v.d., číslo hydrologického pořadí 1-05-02-0300-0-00), velikost průtoku se v průběhu měření neměnila.

Měrný profil jsme vytyčili na místě betonového prahu. Práh se nacházel kolmo na vodní tok, a vystupoval cca 20 cm nad dno toku, které bylo tvořeno bahnými nánosy a většími kameny. Několik metrů po proudu od měrného profilu na úrovni vodoměrné stanice se nacházel výškový stupeň. Charakter proudění byl v místě měření laminární, proudění neovlivňovaly žádné překážky v toku, vegetaci zasahující do vodního toku bylo možné před měřením odstranit. Šířka měrného profilu byla 4 m, počet minimálních svislic dle tabulek je 8 (2001), 13 (2007) a 20 (2022). Vzdálenost mezi sousedními svislicemi byla v rámci jednotlivých měření stejná. Maximální hloubka naměřená na měrném profilu byla 0,17 m, všechna měření na tomto profilu byla tedy 1bodová.

#### 4.2.5 Mohelka

1.6.2023 jsem provedla měření na toku Mohelka. Na toku jsem vytyčila 2 profily, a na nich provedla 6 nezávislých měření. Lokalita horního profilu (obr. 6e) se nacházela v blízkosti obce Dolní Rychnov na souřadnicích 50.6906783 s.š. a 15.1272747 v.d. a lokalita spodního profilu byla cca 400 m po proudu od horního profilu na souřadnicích 50.6890742 s.š. a 15.1223394 v.d. V blízkosti toku se vodoměrná stanice nenacházela, takže nešlo během měření ověřovat, že se nemění velikost průtoku. Pro přibližnou vizuální kontrolu stálosti průtoku jsem použila na břehu umístěný kámen. Dle jeho pozorování během měření velikost průtoku drobně klesla (změna vodního stavu v prvních jednotkách mm).

Charakter toku byl v této oblasti spíše přírodní, na přímých úsecích toku byla hloubka toku na měření Flow Trackerem příliš malá, případně docházelo k ovlivňování proudění překážkami v toku. Horní profil jsem nakonec vytyčila v místě nově se tvořícího meandru. Koryto bylo tvořeno směsí písku a oblázků, levý břeh byl tvořen oderodovaným svahem, přičemž pod hladinou se tvořil podezřelý prostor. Proudění v místě měření se zdálo jako laminární, u pravého břehu byla velmi mělká část koryta, kde voda spíše stagnovala. V toku se nenacházely překážky ovlivňující proudění ani vegetace. Šířka profilu byla 1,75 m, dle normy jsou odpovídající minimální počty svislic 5, 7 a 20 (2001, 2007 a 2022), ale měřila jsem na 6, 8 a 21 svislicích. Svislice mají od sebe navzájem v rámci jednotlivých měření stejný rozestup, pouze pravá břehová svislice a následující svislice mají mezi sebou větší interval, protože při pravém břehu byla u břehu tak malá hloubka toku, že se tam nedalo přístrojem měřit. Maximální hloubka na svislici byla 0,4 m, 3bodovou metodu jsem použila u 21svislicového měření na 11 svislicích, u 8svislicového měření na 4 svislicích a u 6svislicového měření na 3 svislicích.

Spodní profil (obr. 6f) jsem vytyčila na relativně přímém úseku toku, u pravého břehu profilu byla oblast s největší hloubkou, u levého břehu byla oblast s velice malými hloubkami a stagnujícím prouděním a uprostřed profilu se nacházel velký kámen, který byl celý pod hladinou a představoval nepřemístitelnou překážku. Jednalo se o profil méně vhodný pro měření rychlostní metodou, ale tok byl v okolí velmi proměnlivý a vhodnější profil se mi nepodařilo najít. Dno bylo štěrkovo-kamenité, nad i pod měrným profilem se nacházely větší kameny, které mohly ovlivňovat proudění na měrném profilu. Vegetace se v blízkosti profilu nenacházela. Šířka profilu byla 2,9 m (dle tabulek minimálně 5, 7 a 20 svislic pro různé verze normy), přičemž jsem měřila na 5, 8 a 22 svislicích. Odchylka od tabulek je stejně jako u předchozího profilu způsobená dlouhým úsekem s nízkými hloubkami u jednoho z břehů a nepřesné odhadnutí skutečně měřitelné šířky profilu. V rámci jednotlivých měření byly rozestupy mezi svislicemi stejné, neměřitelná oblast u levého břehu měřila 0,3 m. Maximální hloubka na svislici byla 0,54 m a u 22svislicového měření jsem 3bodově měřila na 9 svislicích, u 8svislicového na 3 svislicích a u 5svislicového na 2 svislicích.



## 5. Terénní práce – výsledky měření

V této kapitole přináším výsledné hodnoty průtoku naměřené na zájmových tocích a srovnání průměrných rychlostí naměřených a vypočítaných na jednotlivých svislicích. Průměrné rychlosti pro každý profil jsou v přílohách na konci práce.

### 5.1 Průtoky získané na jednotlivých měrných profilech

V následujících odstavcích pracuji jak s hodnotami průtoku vzniklými nezávislým přeměřením jednotlivých profilů, tak s hodnotami průtoku až následně vypočítanými ze zmíněných nezávislých měření. Původními měřeními mám na mysli průtoky měřené na zvoleném počtu svislic 3bodovou metodou (s výjimkou profilu Žehrovka, kde jsem při měření využila pouze 1bodovou metodu) a vypočítané středovou metodou výpočtu průtoku. Průtoky odpovídající 2bodovým a 1bodovým měřením (mimo profil Žehrovka), stejně jako průtoky vypočítané průměrovou metodou, jsou následnými přepočty vycházejícími z původně naměřených hodnot. Přepočty průtoků jsem provedla v počítačovém softwaru FlowTrackeru a v excelu.

Předpokládaná nejpřesnější hodnota průtoku (dále jen referenční průtok) je průtok vzešlý z měření na největším počtu svislic 3bodovou metodou (v případě toku Žehrovka 1bodové měření s největším počtem svislic). Referenční průtok je jedinečný pro každý profil a v rámci 1 profilu používám zvlášť referenční průtok pro středovou a zvlášť referenční průtok pro průměrovou metodu. 3bodová měření jsou taková, při kterých jsem v profilu na svislicích hlubších než 25 cm měřila rychlost proudění ve 3 bodech. Na svislicích do 25 cm hloubky jsem měřila rychlost proudění jen v 1 bodě. Na některých profilech jsem tedy měřila na části svislic 3bodově a na zbylých svislicích 1bodově, nicméně každé měření, ve kterém je alespoň jedna svislice 3bodová, označuji jako 3bodové měření.

K hodnocení průtoků v rámci jednotlivých měrných profilů používám relativní odchylku ( $d_r$ , [%]) hodnoty průtoku od hodnoty referenčního průtoku. Výpočet relativní odchylky je popsán rovnicí (Soupir et al., 2009, 7):

$$d_r = \frac{Q_n - Q_r}{Q_r} \times 100 \quad (7)$$

kde  $Q_n$  je porovnávaný průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a  $Q_r$  je referenční průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Relativní odchylky jsem počítala pro středovou metodu i průměrovou metodu, a to pro každý profil zvlášť.

U několika profilů se u středové i průměrové metody stalo, že mnou zvolený referenční průtok měl větší relativní odchylku od průtoku naměřeného vodoměrnou stanicí než průtok, který jsem naměřila při použití menšího počtu svislic. Důvodů, proč jsem si za referenční průtoky vybrala právě měření s největším počtem svislic a největším počtem bodů na svislici, a ne např. průtok vypočítaný vodoměrnou stanicí ČHMÚ, je několik. Údaje poskytnuté vodoměrnými stanicemi mohou být obzvlášť u větších průtoků (stovky l/s) problematické, protože stanice na určení průtoků měří vodní stavy, a ty poté pomocí konsumpční křivky převádějí na průtoky. Vodní stavy se měří s přesností na cm, ale 1 cm může u větších průtoků znamenat rozdíl i vyšších desítek l/s. Pokud mám hypotetický průtok 400 l/s a nárůst vodního stavu o 1 cm znamená zvýšení průtoku o 70 l/s, pak může na vodoměrné stanici např. průtok 430 l/s vykazovat stále stejný vodní stav jako průtok 400 l/s. Při několika mých měřeních mimo rámec této práce se ukázalo, že s vysokou pravděpodobností byla měření rychlostní metodou přesnější než údaje z vodoměrné stanice (Tučanová, 2021). Měření s velkým počtem svislic a s větším počtem bodů na svislici by teoreticky měla být nejrepresentativnější, protože v jejich průběhu nasbíráme nejvíce dat o distribuci rychlostí proudění a hloubek v profilu. Dalším výrazným plusem mnou zvoleného referenčního průtoku je fakt, že mohu měřit i na profilech, v jejichž blízkosti se žádná vodoměrná stanice nenachází, což je ostatně případ profilů na Mohelce.

Kromě Mohelky se v blízkosti měrných profilů nalézaly vodoměrné stanice ČHMÚ s kontinuálním snímáním vodního stavu a s online dostupnými hodnotami průtoku. V průběhu všech mých měření FlowTrackerem nedocházelo dle dat z vodoměrných stanic ke změnám ve velikosti průtoků. V tabulce 5 jsou uvedené velikosti průtoku dle vodoměrných stanic, referenční průtok pro středovou i průměrovou metodu pro jednotlivé profily, procentuální relativní odchylka průtoku dle vodoměrné stanice od obou referenčních průtoků a absolutní rozdíl mezi referenčním průtokem a průtokem z vodoměrné stanice. U průtoků hodnocených středovou metodou dosahovala relativní odchylka velikosti od -9,9 do 5,8 %, u průtoků přepočítaných na průměrovou metodu pak od -8,7 do 6,4 %. Nejmenší relativní odchylka hodnoty z vodoměrné stanice vůči velikosti referenčního průtoku je u středové metody na toku Žehrovka (-0,6 %) a u průměrové metody na širokém profilu na Litovickém potoce (-1,0 %). Největší relativní odchylka je pak v obou případech na úzkém profilu Litovického potoka (-9,9 % pro středovou a -8,7 % pro průměrovou metodu). Při pohledu na absolutní rozdíl mezi hodnotami z vodoměrné stanice a referenčními průtoky je u středové i průměrové metody

největší rozdíl na Loděnici, a to 23 l/s s ref. průtokem 395 l/s (resp. 25 l/s, ref. průtok 393 l/s). Nejmenší rozdíl u středové metody je 0,6 l/s (ref. průtok 94 l/s; Žehrovka), u průměrové metody pak 0,7 l/s (ref. průtok 71 l/s; Litovický potok, široký profil).

*Tabulka 5. Hodnoty průtoků naměřené vodoměrnými stanicemi v blízkosti měrných profilů, referenční průtoky pro středovou a průměrovou metodu a relativní odchylky průtoků z vodoměrné stanice od referenčních průtoků.*

<b>Tok (měrný profil)</b>	<b>Průtok dle vodoměrné stanice [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Referenční průtok středová metoda [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Rel. odchylka ref. průtoků od vodoměrné stanice [%]</b>
<b>Botič</b>	0,535	0,546	-2,0
<b>Loděnice</b>	0,418	0,395	5,8
<b>Litovický potok (úzký)</b>	0,0703	0,078	-9,9
<b>Litovický potok (široký)</b>	0,0703	0,071	-1,0
<b>Žehrovka</b>	0,0954	0,096	-0,6
<b>Tok (měrný profil)</b>	<b>Průtok dle vodoměrné stanice [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Referenční průtok průměrová metoda [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Rel. odchylka ref. průtoků od vodoměrné stanice [%]</b>
<b>Botič</b>	0,535	0,538	-0,6
<b>Loděnice</b>	0,418	0,393	6,4
<b>Litovický potok (úzký)</b>	0,0703	0,077	-8,7
<b>Litovický potok (široký)</b>	0,0703	0,071	-1,0
<b>Žehrovka</b>	0,0954	0,094	1,5

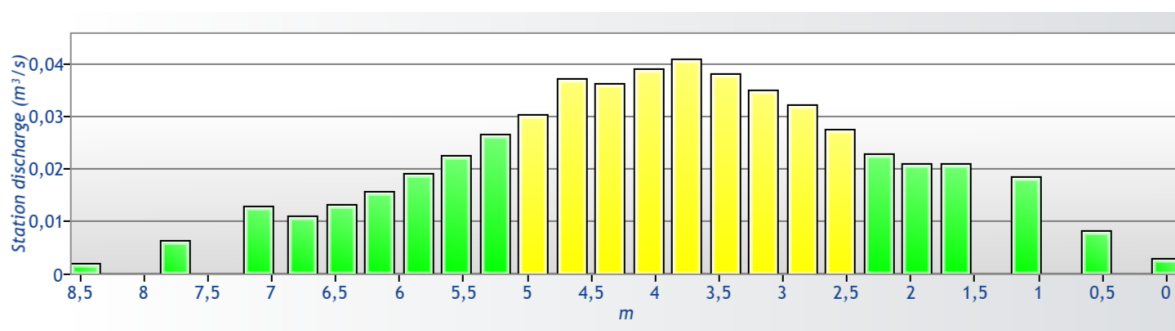
Veškerá měření a výsledky jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách. Jedná se o velikosti referenčních průtoků, ostatních naměřených a vypočítaných průtoků a jejich relativní odchylky od referenčních průtoků. Dále uvádím průměrné relativní odchylky průtoků podle průměrové metody od průtoků získaných středovou metodou v rámci jednotlivých měření, nejistoty měření a počet dílčích průtoků překračujících určité procentuální velikosti v porovnání s celkovým průtokem. Dle normy ISO 748 by velikosti dílčích průtoků spíše neměly překračovat 5 % celkového průtoků a rozhodně neměly překračovat 10 % z celkového průtoků. Přístroj FlowTracker na toto v průběhu měření i následném zobrazení dat v počítači upozorňuje barevným rozlišením dílčích průtoků na žluté (nad 5 %) a červené (nad 10 %). Dílčí průtoky hodnotím u 3bodových měření zvlášť pro středovou a průměrovou metodu. Popisované

nejistoty měření dle IVE a ISO metody (což jsou výstupy z přístroje FlowTracker) se vztahují k 3bodovým měřením středovou metodou (mimo měření na Žehrovce, které je pouze 1bodové). Při přepočtu středové metody na průměrovou v počítačovém softwaru se hodnota ISO nejistoty nemění a k přepočtu IVE nejistoty nedochází vůbec.

### 5.1.1 Botič (Praha – Nusle)

Na Botiči jsem provedla celkem 2 nezávislá měření, protože dle šířky toku (8,45 m) je minimální počet svislic dle posledních dvou verzí normy ISO 748 shodný (22 svislic). Naměřené a vypočítané hodnoty průtoku dosahovaly v případě středové metody 0,545–0,565  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , přičemž relativní odchylky průtoků od referenčního průtoku (0,546  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) dosahovaly -0,2–3,5 %. U průměrové metody byl průtok v rozmezí 0,537–0,547  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a relativní odchylky od referenčního průtoku (0,538  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) byly -0,2–1,7 %. Pro měření s větším počtem svislic byla relativní odchylka středové metody od průměrové v průměru 1,5 % a pro měření s menším počtem svislic 3,2 %.

Při pohledu na dílčí průtoky je u vícetřídového měření (22 svislic) oběma metodami 9 z nich označeno žlutě, tedy jako větší než 5 % z celkového průtoku (obr. 7). U méně podrobného měření (10 svislic) bylo u středové metody 5 dílčích průtoků červeně (větší než 10 % z celkového průtoku) a 2 žlutě, a u průměrové metody 4 červeně a 4 žlutě. Nejistota měření dle IVE metody dosahovala 1,9–3,0 % a dle ISO metody 2,5–4,6 %, obě měření se tedy vešla do 5 % nejistoty, což značí dobré měření (Huhta a Sloat, 2007).



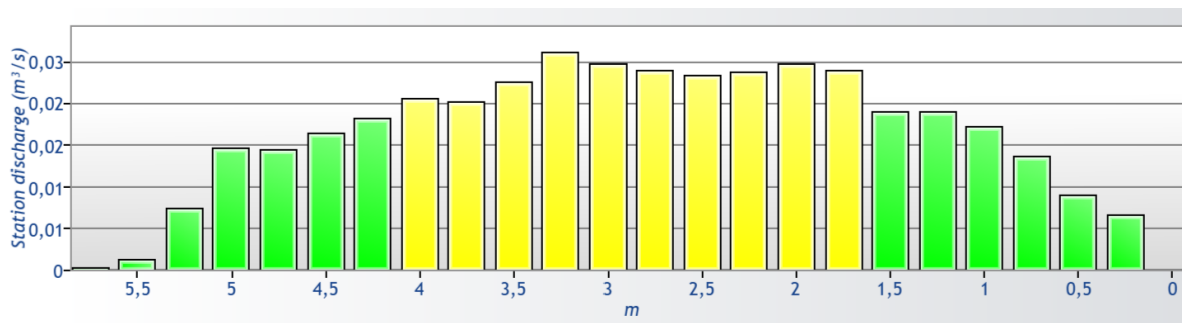
Obr. 7. Znáznornění velikostí dílčích průtoků na Botiči, středová metoda.

### 5.1.2 Loděnice (Loděnice)

Na Loděnici jsem podobně jako na Botiči provedla na jednom profilu 2 nezávislá měření, 22svislicové měření je přiřazeno verzi ISO 748 (2007) i (2022). Středovou metodou získané

průtoky byly v rozmezí  $0,394\text{--}0,408\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  a relativní odchylky od referenčního průtoku ( $0,395\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) dosahovaly  $-0,3\text{--}3,3\%$ . Průtoky vypočítané průměrovou metodou dosahovaly hodnot  $0,392\text{--}0,397\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  s relativními odchylkami od referenčního průtoku ( $0,393\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) v intervalu  $-0,3\text{--}1,0\%$ . Průtoky získané středovou metodou měly od průtoků vypočítaných průměrovou metodou relativní odchylku v průměru  $0,5\%$  (22 svislic) a  $2,8\%$  (10 svislic).

U 22svislicového měření překročilo u průměrové i středové metody 10 dílčích průtoků  $5\%$  z celkového průtoku, a u 10svislicového měření překračovalo u obou metod 6 dílčích průtoků hranici  $10\%$  a 3 dílčí průtoky  $5\%$  z celkového průtoku (obr. 8). Nejistoty měření dosahovaly dle metody IVE  $2,2\%$  pro 22 svislic ( $3,5\%$  pro 10 svislic) a dle metody ISO  $2,5\%$  ( $4,5\%$ ), v obou případech se tedy jednalo o dobrá měření.



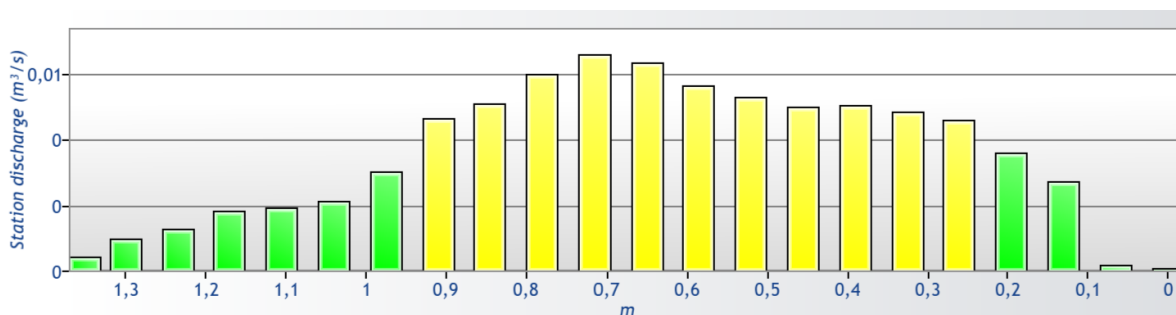
Obr. 8. Znárodnění velikostí dílčích průtoků na Loděnici, středová metoda.

### 5.1.3 Litovický potok (Praha – Ruzyně, úzký profil)

Na úzkém profilu Litovického potoka jsem udělala 3 nezávislá měření, 20svislicové, 7svislicové a 5svislicové. Průtoky naměřené a vypočítané středovou metodou ze všech 3 měření dosahovaly  $0,077\text{--}0,089\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  a relativní odchylky od referenčního průtoku ( $0,078\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) byly  $-1,3\text{--}14,1\%$ . U průměrové metody byly průtoky v rozmezí  $0,075\text{--}0,078\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  a relativní odchylky (referenční průtok  $0,077\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) byly  $-0,3\text{--}1,0\%$ . Průměrné relativní odchylky průtoků vypočítaných středovou metodou od průtoků dle průměrové metody byly  $0,4, 7,9$  a  $14,1\%$  (20, 7 a 5 svislic).

Co se týče velikostí dílčích průtoků, jejich počty převyšující  $5$  a  $10\%$  z celkového průtoku jsou u středové i průměrové metody stejné. Při pohledu na 20svislicové měření překračovalo 11 dílčích průtoků  $5\%$  celkového průtoku, u 7svislicového měření bylo 5 dílčích průtoků větších než  $10\%$  celku a 2 dílčí průtoky větší mezi  $5\text{--}10\%$  celku (obr. 9). U 5svislicového průtoku

jsou 4 červené průtoky (nad 10 %) a jeden žlutý (nad 5 %). Nejistoty měření udávané přístrojem byly u 20svislicového měření shodně 2,8 %, u 7svislicového dle ISO 6,2 a dle IVE 5,7 % a u měření s nejmenším počtem svislic dle ISO 8,3 a dle IVE 6,5 %. Optiku dobrého měření (nejistota do 5 %) splňuje tedy jen 20svislicové měření.

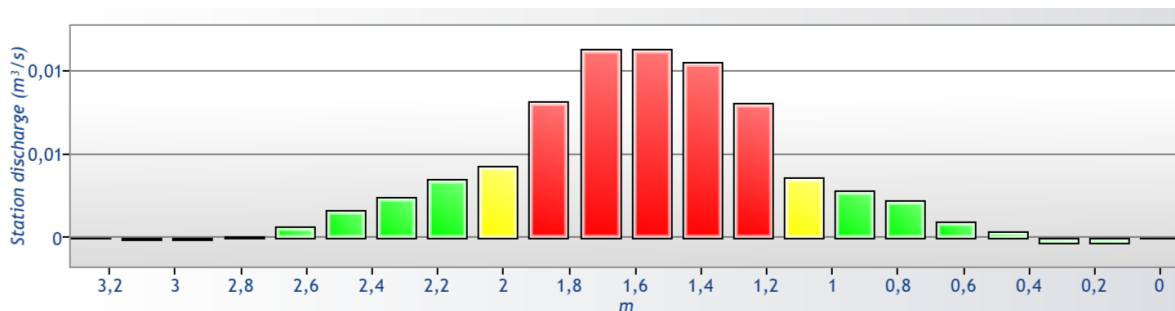


Obr. 9. Znárodnění velikostí dílčích průtoků na úzkém profilu Litovického potoka, středová metoda.

#### 5.1.4 Litovický potok (Praha – Ruzyně, široký profil)

Na širokém profilu jsem provedla 3 nezávislá měření po 20, 13 a 8 svislicích. Změna počtu svislic oproti úzkému profilu na Litovickém potoce je způsobena rozdílnou šířkou obou profilů. U středové metody byly velikosti průtoků v intervalu  $0,070\text{--}0,072\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ . Hodnota referenčního průtoky byla  $0,071\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  a relativní odchylky dosahovaly  $\pm 1,4\%$ . U průměrové metody byl průtok  $0,069\text{--}0,072\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  s referenčním průtokem také  $0,071\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  a relativními odchylkami  $-2,8\text{--}1,4\%$ . V porovnání průměrové a středové metody byly u 20svislicového a 13svislicového měření v průměru nulové relativní odchylky a u 8svislicového měření byla průměrná relativní odchylka středové od průměrové metody 2,9 %.

U měření s nejvyšším počtem svislic bylo 5 červených a 2 žluté dílčí průtoky (obr. 10), měření s prostředním počtem svislic mělo 4 červené a 3 žluté dílčí průtoky a poslední měření mělo 4 červené a 1 žlutý dílčí průtok (středová metoda). U průměrové metody byly 4 červené a 3 žluté (20 svislic), 4 červené a 2 žluté (13 svislic) a 3 červené a 2 žluté dílčí průtoky (8 svislic). Nejistoty měření dle ISO metody byly pro měření seřazené sestupně dle počtu svislic 2,9, 3,9 a 5,7 %, dle IVE metody pak 3,7, 8,7 a 14,2 %. S přihlédnutím k oběma metodám je uspokojivé pouze 20svislicové měření.

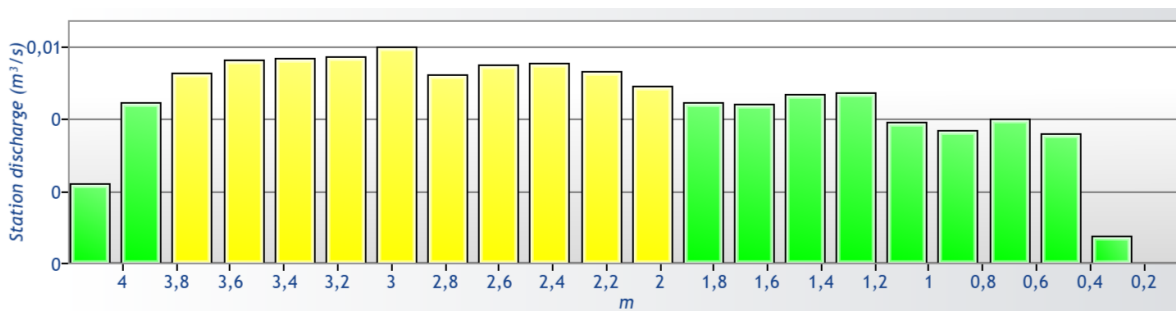


Obr. 10. Znáznornění velikostí dílčích průtoků na širokém profilu Litovického potoka, středová metoda.

### 5.1.5 Žehrovka (Březina)

Na Žehrovce jsem provedla 3 nezávislá měření s 20, 13 a 8 svislicemi. Specifikem tohoto profilu oproti ostatním byla malá hloubka po celé šířce profilu (do 0,17 m), což znamená, že na všech svislicích jsem měřila pouze jednobodově. Středová metoda vykazovala hodnoty průtoků 0,096, 0,100 a 0,103  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (20, 13 a 8 svislic) s relativními odchylkami od referenčního průtoků (0,096  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) 4,2 a 7,3 %. Průměrová metoda přinesla hodnoty průtoků 0,094  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pro 20 i 13 svislic a 0,093  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pro 8 svislic. Relativní odchylka posledně zmíněného průtoků od referenčního je -1,1 %. Relativní odchylky průtoků získaných středovou metodou od průtoků získaných průměrovou metodou byly 2,1, 6,4 a 10,8 % (měření seřazena sestupně dle počtu svislic).

U středové metody bylo u měření s největším počtem svislic 10 dílčích průtoků větších než 5 % celku (obr. 11), u průměrové to bylo 12 dílčích průtoků., Prostřední měření mělo 13 takových dílčích průtoků (obě metody) a měření s nejmenším počtem svislic mělo 4 dílčí průtoky větší než 5 % a 5 větších než 10 % (průměrová metoda 2 přes 5 % a 6 přes 10 %). Nejistoty měření uváděné přístrojem byly dle ISO metody pro 20svislicové měření 3,1 % (dle IVE 3,7 %), pro 13svislicové měření 4,1 % (4,4 %) a pro 8svislicové 5,9 % (6,7 %). Poslední zmíněné měření je tedy dle obou metod méně dobré.

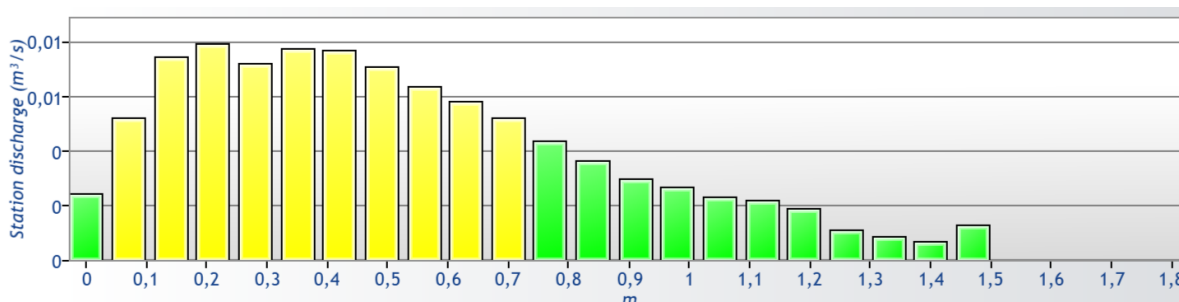


Obr. 11. Znáznornění velikostí dílčích průtoků na Žehrovice, středová metoda.

### 5.1.6 Mohelka (horní profil)

Na horním profilu Mohelky jsem provedla 3 nezávislá měření po 21, 8 a 6 svislicích. Průtoky získané středovou metodou dosahovaly hodnot 0,089–0,101  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (referenční průtok byl 0,095  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a relativní odchylky od referenčního průtoky dosahovaly -6,3–6,3 %. Průtoky spočítané průměrovou metodou byly 0,076–0,097  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , relativní odchylky od referenčního průtoky (0,092  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) byly -17,4–5,4 %. Průměrné relativní odchylky středové metody od průměrové vyšly při sestupném seřazení měření dle počtu svislic 3,6, 10,8 a -17,2 %.

Při pohledu na středovou metodu hlediskem velikosti dílčích průtoků, nejpodrobnější měření mělo 10 žlutých dílčích průtoků (obr. 12), prostřední měření mělo 4 červené a 3 žluté a nejméně podrobné měření mělo 4 červené a 1 žlutý dílčí průtok. U průměrové metody při stejném pořadí měření měly první a poslední měření shodný počet větších dílčích průtoků jako u středové metody, a druhé měření mělo 5 červených a 1 žlutý dílčí průtok. Hodnoty nejistot měření dosahovaly dle ISO 2,7, 5,5 a 7,0 % (dle IVE 2,9, 4,7 a 5,7 %), tedy první 2 měření naplňovala parametr dobrého měření.



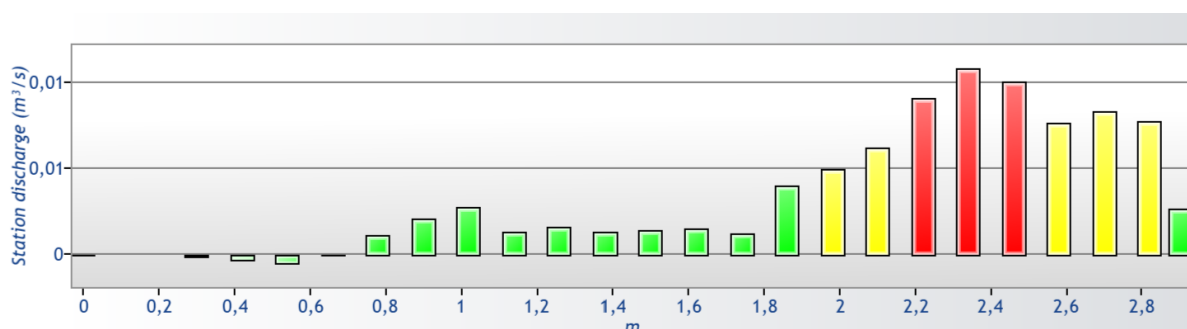
Obr. 12. Znáznornění velikostí dílčích průtoků na horním profilu Mohelky, středová metoda.



### 5.1.7 Mohelka (spodní profil)

Poslední, celkově 3 nezávislá měření po 22, 8 a 5 svislicích, jsem udělala na spodním profilu Mohelky. Velikosti průtoků změřených a vypočítaných středovou metodou se pohybovaly mezi 0,078 a 0,102 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, referenční průtok byl 0,085 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Relativní odchylky průtoků od referenčního průtoky byly -8,2–20,0 %. U průměrové metody dosahovaly velikosti průtoky 0,071–0,085 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> s referenčním průtokem 0,083 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a relativními odchylkami od referenčního průtoky v rozmezí -14,5 a 2,4 %. Průměrné relativní odchylky středové od průměrové metody byly na 22svislicovém měření 2,8 %, na 8svislicovém měření 10,7 % a na posledním, 5svislicovém měření -32,4 %.

Nejpodrobnější měření středovou metodou mělo 5 žlutých (5–10 % celku) a 3 červené (přes 10 %) dílčí průtoky (obr. 13), u průměrové metody to byly 4 žluté a 4 červené průtoky. Prostřední měření středovou metodou mělo 1 žlutý a 4 červené průtoky, u průměrové metody byl počet žlutých dílčích průtoků o 1 větší. Nejméně podrobné měření mělo u obou metod 1 žlutý a 3 červené dílčí průtoky. Při sestupném seřazení měření dle počtu svislic dosahovaly nejistoty měření dle ISO 2,7, 5,7 a 8,3 %. Dle IVE byly nejistoty 4,2, 23,6 a 24,5 %. Dle Hupty a Sloata (2007) se tedy pouze nejpodrobnější měření dalo považovat za dobré měření.



Obr. 13. Znárodnění velikostí dílčích průtoků na spodním profilu Mohelky, středová metoda.

### 5.1.8 Shrnutí – měřené průtoky

V této podkapitole shrnuji hodnoty průtoků, relativních odchylek a nejistot měření popsané v předchozích odstavcích. V tabulce 6 jsou hodnoty průtoků (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) naměřených na jednotlivých tocích a profilech a vypočítaných pomocí průměrové a středové metody s přihlédnutím k minimálnímu počtu svislic uvedenému v dané verzi normy ISO 748, a nejistoty měření (%) dle IVE metody a ISO metody. V tabulce jsou hodnoty průtoků

odpovídající 3bodovému, 2bodovému a 1bodovému měření. Chybějící hodnoty u vícebodových měření (Žehrovka) značí tok s příliš malou hloubkou na provedení vícebodového měření.

*Tabulka 6. Hodnoty průtoků ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) naměřené a vypočítané středovou a průměrovou metodou, a nejistoty měření vypočítané dle IVE a ISO metody pro referenční průtoky dle středové metody; oranžově podbarvené hodnoty referenčních průtoků.*

Tok (profil)	Verze ISO 748	Průtok středová metoda [ $m^3/s$ ]			Průtok průměrová metoda [ $m^3/s$ ]			Nejistota měření (IVE) [%]	Nejistota měření (ISO) [%]
		3bodová metoda	2bodová metoda	1bodová metoda	3bodová metoda	2bodová metoda	1bodová metoda		
Botič	2007, 2022	0,546	0,547	0,545	0,538	0,539	0,537	1,9	2,5
	2001	0,564	0,565	0,564	0,546	0,547	0,546	3,0	4,6
Loděnice	2007, 2022	0,395	0,394	0,397	0,393	0,392	0,395	2,2	2,5
	2001	0,407	0,407	0,408	0,396	0,396	0,397	3,5	4,5
Litovický potok (úzký)	2022	0,078	0,077	0,077	0,077	0,077	0,077	2,8	2,8
	2007	0,082	0,081	0,083	0,076	0,075	0,077	5,7	6,2
	2001	0,089	0,089	0,089	0,078	0,078	0,078	6,5	8,3
Litovický potok (široký)	2022	0,071	0,072	0,071	0,071	0,072	0,071	3,7	2,9
	2007	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	8,7	3,9
	2001	0,071	0,071	0,071	0,069	0,069	0,069	14,2	5,7
Žehrovka	2022	-	-	0,096	-	-	0,094	3,7	3,1
	2007	-	-	0,100	-	-	0,094	4,4	4,1
	2001	-	-	0,103	-	-	0,093	6,7	5,9
Mohelka (horní)	2022	0,095	0,090	0,101	0,092	0,087	0,097	2,9	2,7
	2007	0,098	0,096	0,099	0,087	0,086	0,088	4,7	5,5
	2001	0,091	0,089	0,093	0,078	0,076	0,079	5,7	7,0
Mohelka (spodní)	2022	0,085	0,083	0,088	0,083	0,081	0,085	4,2	2,7
	2007	0,079	0,078	0,081	0,071	0,071	0,073	23,6	5,7
	2001	0,099	0,097	0,102	0,075	0,074	0,076	24,5	8,3

Nyní srovnám velikosti průtoků v rámci jednotlivých profilů z pohledu odlišných verzí normy 748 využitých při měření průtoků. Na profilech Botič a Loděnice, kde mám pro 2 verze normy (2007 a 2022) stejnou hodnotu průtoků, přiřazuji tuto hodnotu pouze aktuálně platné normě (2022). U středové metody (3bodová měření) se při srovnání hodnot průtoků patřící aktuálně platné normě s nejstarší zkoumanou normou ukázalo, že na 5 ze 7 profilů vykazuje nejstarší norma vyšší hodnoty průtoků, jedná se o procentuální rozdíl 3,0 až 16,5 % (v průměru 8,8 %) a u 4 profilů jde o rozdíly přesahující 10 l/s. Na 1 profilu je tomu naopak (průtok dle nejstarší normy o 4,2 % nižší než dle nejmladší) a u jednoho profilu jsou hodnoty téměř totožné (3bodové a 1 bodové měření jsou stejná, 2bodové se liší o 1 l/s). Srovnání průtoků dle normy z roku 2022 a dle normy z roku 2007 mohou provést pouze pro 5 profilů. Na 3 profilech patří normě z roku

2007 vyšší hodnoty průtoku (o 3,2 až 5,1 %) a na 2 profilech naopak (aktuální norma o 1,4 až 7,1 % menší).

U průměrové metody (3bodová měření) jsou na prvních 3 profilech vyšší průtoky měřené dle nejstarší verze normy, na zbylých profilech jsou vyšší průtoky měřené dle nejmladší normy. Až na profil Mohelka (horní), kde byl rozdíl 12 l/s (15,2 %) se jedná o rozdíly v řádu jednotek l/s (do 9,6 %). Ze srovnání průtoků měřených dle normy z roku 2022 a dle normy z roku 2007 vyplývá, že až na 1 měření, u kterého jsou průtoky shodné, jsou hodnoty průtoků nižší pro měření dle normy z roku 2007 (rozdíl 1,3 až 14,5 %).

Jestli jsou rozdíly mezi hodnotami průtoku naměřenými dle různých norem statisticky významné, či nikoli, jsem testovala pomocí dvouvýběrového párového Studentova t-testu. Testovala jsem na hladině významnosti 0,05, a to jak skutečně naměřené průtoky (středová metoda, 3bodová, v případě Žehrovky 1bodová), tak i jejich ekvivalenty vypočítané průměrovou metodou. Dále jsem testovala všechny průtoky dohromady (1+2+3bodová měření), a to jednak zvlášť pro středovou a průměrovou metodu, jednak všechna měření dohromady (středová spolu s průměrovou metodou). Výsledky testů jsou v tabulce 7. Statisticky významně rozdílné průtoky se ve všech případech ukázaly jen u srovnání verze normy 748 z roku 2022 s verzí z roku 2001, přičemž starší verze dávala statisticky významně větší průtok než mladší verze.

*Tabulka 7. Rozlišení, zda je dle Studentova t-testu statisticky významný rozdíl mezi průtoky naměřenými dle různých verzí normy ISO 748, A – ano, N – ne.*

	Je statisticky významný rozdíl velikosti průtoku?	
	2022 vs. 2001 středová/průměrová	2022 vs. 2007 středová/průměrová
<b>Všechny profily dohromady 3bodová metoda</b>	A/N	N/N
<b>Všechny průtoky dohromady (včetně 1,2bodové metody)</b>	A/N	N/A
	Středová a průměrová dohromady	
	2022 vs 2001	2022 vs 2007
<b>Všechny průtoky dohromady (včetně 1,2bodové metody)</b>	A	N

V tabulce 8 jsou uvedeny hodnoty relativních odchylek (%) průtoků popsaných v tabulce 6 od jim odpovídajícího referenčního průtoků, tedy teoreticky nejrepresentativnějšího a nejpřesnějšího z naměřených a vypočítaných průtoků (rovnice 7).

*Tabulka 8. Relativní odchylky (%) naměřených a vypočítaných průtoků od referenčních průtoků. Prázdné kolonky („-“) označují chybějící hodnoty nebo referenční průtok (podbarveno oranžově), který nemá smysl srovnávat.*

		Relativní odchylka od referenční hodnoty průtoků [%]					
		Středová metoda			Průměrová metoda		
Tok (profil)	Verze ISO 748	3bodová metoda	2bodová metoda	1bodová metoda	3bodová metoda	2bodová metoda	1bodová metoda
Botič	2007, 2022	-	0,2	-0,2	-	0,2	-0,2
	2001	3,3	3,5	3,3	1,5	1,7	1,5
Loděnice	2007, 2022	-	-0,3	0,5	-	-0,3	0,5
	2001	3,0	3,0	3,3	0,8	0,8	1,0
Litovický potok (úzký)	2022	-	-1,3	-1,3	-	0,0	0,0
	2007	5,1	3,8	6,4	-1,3	-2,6	0,0
	2001	14,1	14,1	14,1	1,3	1,3	1,3
Litovický potok (široký)	2022	-	1,4	0,0	-	1,4	0,0
	2007	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
	2001	0,0	0,0	0,0	-2,8	-2,8	-2,8
Žehrovka	2022	-	-	-	-	-	-
	2007	-	-	4,2	-	-	0
	2001	-	-	7,3	-	-	-1,1
Mohelka (horní)	2022	-	-5,3	6,3	-	-5,4	5,4
	2007	3,2	1,1	4,2	-5,4	-6,5	-4,3
	2001	-4,2	-6,3	-2,1	-15,2	-17,4	-14,1
Mohelka (spodní)	2022	-	-2,4	3,5	-	-2,4	2,4
	2007	-7,1	-8,2	-4,7	-14,5	-14,5	-12,0
	2001	16,5	14,1	20,0	-9,6	-10,8	-8,4

V tabulce 9 jsou uvedeny relativní odchylky průtoků získaných středovou metodou od hodnot průtoků získaných průměrovou metodou v rámci jednotlivých měření na jednotlivých profilech. Odchylky jsou stejně jako v tabulce 8 vypočítané rovnicí 7, v tomto případě je ovšem  $Q_n$  hodnota průtoků získaná středovou metodou a  $Q_r$  průtok získaný průměrovou metodou.

Tabulka 9. Relativní odchylky (%) průtoků získaných středovou metodou od průtoků získaných průměrovou metodou a aritmetický průměr odchylek. „-“ značí chybějící hodnoty, oranžově podbarvené jsou relativní odchylky referenčních průtoků.

Tok (profil)	Verze ISO 748	Relativní odchylka středové od průměrové metody [%]			
		3bodová metoda	2bodová metoda	1bodová metoda	Průměr [%]
Botič	2007, 2022	1,5	1,5	1,5	1,5
	2001	3,3	3,3	3,3	3,3
Loděnice	2007, 2022	0,5	0,5	0,5	0,5
	2001	2,8	2,8	2,8	2,8
Litovický potok (úzký)	2022	1,3	0,0	0,0	0,4
	2007	7,9	8,0	7,8	7,9
	2001	14,1	14,1	14,1	14,1
Litovický potok (široký)	2022	0,0	0,0	0,0	0,0
	2007	0,0	0,0	0,0	0,0
	2001	2,9	2,9	2,9	2,9
Žehrovka	2022	-	-	2,1	-
	2007	-	-	6,4	-
	2001	-	-	10,8	-
Mohelka (horní)	2022	3,3	3,4	4,1	3,6
	2007	12,6	11,6	12,5	12,3
	2001	16,7	17,1	17,7	17,2
Mohelka (spodní)	2022	2,4	2,5	3,5	2,8
	2007	11,3	9,9	11,0	10,7
	2001	32,0	31,1	34,2	32,4

## 5.2 Rozdíly v rychlosti proudění a ve velikosti průtoků

K výpočtu dílčích průtoků na svislici jsem potřebovala získat průměrnou rychlost proudění na svislici a tu pak vynásobit s dílčí průtočnou plochou náležící dané svislici. Na svislicích s hloubkami menšími než 25 cm jsem měřila rychlost 1bodově, a průměrná rychlost proudění se v takovém případě rovnala právě tomuto 1bodovému měření. Na svislicích s většími hloubkami (celkem jich bylo 113) jsem prováděla 3bodová měření rychlosti proudění (měření ve 20, 60 a 80 % hloubky od hladiny). Z těchto měření jsem pak počítala průměrnou rychlost proudění dle 2bodové a 3bodové metody (rovnice a podrobný popis uvádím v podkapitole

2.1.2). V následujících odstavcích srovnávám průměrné rychlosti proudění na svislici získané pomocí 1bodové, 2bodové a 3bodové metody.

Pro zjištění, jestli se rychlosti naměřené v rámci různých metod od sebe liší, jsem použila párový oboustranný Studentův t-test. Jako nulovou hypotézu  $H_0$  jsem určila, že střední hodnoty proti sobě postavených výběrů jsou shodné, alternativní hypotézou  $H_1$  byly rozdílné střední hodnoty výběrů. Výběry jsem testovala na hladině významnosti 0,05. Testované výběry tvořily rychlosti naměřené v rámci daného profilu, na každém profilu jsem porovnávala 3bodové a 2bodové rychlosti, 3bodové a 1bodové rychlosti a 2bodové a 1bodové rychlosti. Testování jsem provedla na všech profilech kromě Žehrovky, na které jsem kvůli malým hloubkám provedla pouze 1bodová měření. Dohromady jsem tedy provedla 18 testů. Z těchto 18 testů jsem u 15 z nich nezamítla  $H_0$ , protože se rozdíly mezi testovanými výběry ukázaly jako statisticky nevýznamné na hladině významnosti 5 %. U 3 testů se na stejné hladině významnosti ukázaly rozdíly jako statisticky významné, což vedlo k zamítnutí  $H_0$ . Všechny 3 testy se týkaly rychlostí naměřených na stejném profilu – Mohelka horní.

Vedle testování rozdílnosti průměrných rychlostí v rámci jednotlivých profilů jsem ještě provedla testy na výběrech, které tvořily výše popsané rychlosti ze všech dotčených profilů dohromady. Stejně jako v minulém odstavci jsem porovnávala 3bodové rychlosti s 2bodovými, 3bodové s 1bodovými a 2bodové s 1bodovými rychlostmi (3 testy). Všechny testy ukázaly rozdíly mezi výběry na hladině významnosti 0,05 jako statisticky významné. Ovšem když jsem z výběrů odstranila rychlosti z výše zmíněného profilu Mohelka horní, ukázaly se pak rozdíly mezi výběry jako statisticky nevýznamné (tabulka 10). Tuto skutečnost dále rozebírám v diskuzi.

Tabulka 10. Rozlišení, zda jsou mezi průměrnými rychlostmi dle různých typů měření (počet bodů na svislíci) statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05 dle Studentova *t*-testu, *A* – ano, *N* – ne.

Tok (profil)	Je statisticky významný rozdíl v průměrné rychlosti proudění?		
	3bodová vs. 2bodová metoda	3bodová vs. 1bodová metoda	2bodová vs. 1bodová metoda
Botič	N	N	N
Loděnice	N	N	N
Litovický potok (úzký)	N	N	N
Litovický potok (široký)	N	N	N
Mohelka (horní)	A	A	A
Mohelka (spodní)	N	N	N
Všechny profily dohromady	A	A	A
Všechny profily (kromě horní Mohelky)	N	N	N

Po testování jednotlivých bodových metod z pohledu průměrných rychlostí jsem se rozhodla to samé udělat i optikou průtoků, tedy jestli se od sebe statisticky významně liší průtoky vypočítané z průměrných rychlostí pocházejících od různých bodových metod. Při pohledu na absolutní velikosti průtoků (středová i průměrová metoda) se od sebe jednotlivé bodové metody (3bodová vs 2bodová, 3bodová vs 1bodová a 2bodová vs 1bodová) lišily nejčastěji v prvních jednotkách l/s, případně se nelišily vůbec (toto je nejvíce patrné na širokém Litovickém potoce). Vyšší rozdíly (5–11 l/s) se ukazovaly pouze na profilech Mohelky, pro středovou metodu v 5 případech (nejvíce při porovnání 2bodové a 1bodové metody) a u průměrové metody ve 2 případech. Testování jsem prováděla na výběrech všech profilů dle dané bodové metody dohromady (středová a průměrová metoda zvlášť). Výsledky statistických testů provedených na výběrech průtoků jsou v tabulce 11.

Tabulka 11. Rozlišení, zda je na hladině významnosti 0,05 dle Studentova testu statisticky významný rozdíl mezi průtoky pocházejícími z odlišných bodových měření, A – ano, N – ne.

	Je statisticky významný rozdíl ve velikosti průtoků?		
	3bodová vs. 2bodová středová/průměrová	3bodová vs. 1bodová středová/průměrová	2bodová vs. 1bodová středová/průměrová
Všechny průtoky	A/N	A/A	A/A
Všechny průtoky bez horní Mohelky	N/N	N/A	N/N
	Středová a průměrová dohromady		
Všechny průtoky	A	A	N
Všechny průtoky bez horní Mohelky	N	A	A

Pro středovou metodu a pro výběry se všemi průtoky vyšly rozdíly ve velikostech průtoků mezi jednotlivými metodami jako statisticky významné, při vyloučení průtoků z horní Mohelky vyšly rozdíly naopak statisticky nevýznamné. U průměrové metody došlo ke 2 odlišným výsledkům, u porovnávání 3bodové a 2bodové metody se na všech průtocích ukázaly rozdíly statisticky nevýznamné, a u srovnání 3bodové a 1bodové metody na průtocích bez horní Mohelky se naopak ukázaly jako stat. významné.

## 6. Diskuze

### 6.1 Velikosti průtoků v závislosti na počtu svislic

V této podkapitole hodnotím velikosti průtoků naměřené a vypočítané na jednotlivých profilech 3bodovou, 2bodovou a 1bodovou metodou (kromě profilu Žehrovka, na kterém jsem měřila pouze 1bodově) s přihlédnutím k rozdílným minimálním počtům svislic dle šířky měrného profilu popsanych ve 3 verzích technické normy zabývající se měřením průtoků rychlostními metodami, ISO 748. Měřila jsem na 7 profilech, udělala jsem 19 nezávislých měření a z těchto měření jsem následně vypočítala další průtoky odpovídající jiným bodovým metodám měření, celkově jsem tak pracovala s 51 hodnotami průtoků (z toho 7 referenčních) pro středovou a průměrovou metodu. Minimální počty svislic se s aktualizováním normy postupně zpříšňovaly. Minimální počty svislic dle norem z let 2001, 2007 a 2022 jsou rozdílné, pouze u toků s šířkou větší než 5 m, tedy u Botiče a Loděnice, bylo kritérium minimálního počtu svislic dle norem



z let 2007 a 2022 shodné, a proto jsem těmto normám na zmíněných profilech přiřadila shodná měření.

#### 6.1.1 Středová metoda

Při srovnávání velikostí průtoků naměřených dle aktuálně platné normy z roku 2022 s nejstarší normou (2001) byla většina průtoků patřících starší normě větší než průtoky dle normy mladší. Tento rozdíl byl statisticky významný jak pro 3bodové průtoky zvlášť, tak pro všechny průtoky dohromady. Při srovnání průtoků dle normy 2022 s průtoky dle normy 2007 byly větší průtoky rovnoměrně rozdělené mezi obě zmíněné normy, a Studentovy t-testy mezi nimi neprokázaly statisticky významný rozdíl.

38 průtoků mělo relativní odchylky od ref. průtoku v jednotkách % a 6 průtoků mělo relativní odchylky v intervalu 10–20 %. Když porovnáme velikosti relativních odchylek s hranicí 5 %, která obecně (např. dle Huhty a Sloata, 2007) ukazuje dobré měření, většina (30 ze 44) průtoků má relativní odchylku nižší (pod 5 %). To dává poměrně dobrou představu o chybě, respektive rozdílu, který může vzniknout při dodržování doporučení dle různých verzí norem. Ze zbývajících 14 průtoků měla vyšší relativní odchylku 2 měření odpovídající normě z roku 2022, 4 normě z roku 2007 a 8 normě z roku 2001. Nejstarší zkoumaná norma tedy ukazovala nejvíce průtoků s výraznějšími relativními odchylkami od referenčních průtoků. V rámci jednotlivých profilů lze u všech až na 2 napsat, že s klesajícím počtem měrných svislic stoupala velikost relativních odchylek. Jedním z profilů, kde toto neplatí, byl široký profil na Litovickém potoce, na kterém měla nejstarší norma ve všech měřeních menší odchylky než většina měření patřící normám 2007 a 2022, v tomto případě byly ovšem odchylky velice nízké, pouze  $\pm 1,4$  %. Druhým z profilů byl horní profil Mohelky, na kterém v případě 1bodových měření velikosti relativních odchylek s klesajícím počtem svislic mírně (jednotky %) klesaly.

3 ze 7 profilů mají všechna měření podle všech norem na základě relativních odchylek do 5 %, a to Botič, Loděnice a překvapivě i Litovický potok, široký profil. Botič a Loděnice byly široké profily s - v kontextu této práce - velkými průtoky (546 a 395 l/s) s pravidelným hloubkovým profilem, z pohledu požadavků na měrné profily vhodné pro měření průtoků rychlostní metodou se jednalo o takřka ideální profily. Široký profil Litovického potoka je méně ideální, protože k prostředku profilu se výrazně zvyšovala hloubka a většina celkového průtoku (71 l/s) protéká právě prostředkem profilu. Tento profil se od Botiče a Loděnice lišil i v tom, že i

v měření s největším počtem svislic má několik dílčích průtoků větších než 10 % z celkového průtoku, kdežto u druhých 2 profilů byly maximální velikosti dílčích průtoků do 10 %.

Největší relativní odchylky (14,1–20,0 %) vykazovala na Litovickém potoce (úzký profil) a na Mohelce (spodní profil) nejméně přísná norma ISO 748 2001, tedy norma s nejmenším minimálním počtem svislic. Co do velikosti průtoků jsou toky srovnatelné, průtočným průřezem a horizontálním rychlostním profilem jsou ovšem velice rozdílné. Úzký profil Litovického potoka byl ze všech zkoumaných nejužším profilem (1,35 m), měl pravidelné dno a svislice s podobnými hloubkami a průtok byl rovnoměrně rozložen v celém profilu. Spodní profil Mohelky byl o 1,55 m delší, hloubka se na profilu prudce měnila v prostoru a většina celkového průtoku protékala nejhlubším místem profilu nacházejícím se u pravého břehu.

#### 6.1.2 Průměrová metoda

Průtoky vypočítané průměrovou metodou vycházejí z výše probíraných průtoků vypočítaných středovou metodou. Když podobně jako u středové metody porovnáme velikosti průtoků odpovídajících normě 2022 s těmi odpovídajícími normě 2001, aktuálně platná norma má vyšší průtoky v 10 případech z 19, starší norma vykazuje vyšší hodnoty ve zbylých případech. Při testech na hladině významnosti 0,05 se rozdíly mezi dvojicemi průtoků ukázaly jako statisticky nevýznamné na výběrech 3bodových průtoků i na výběrech všech průtoků dohromady, na rozdíl od stejně testované středové metody. Při srovnání průtoků dle normy 2022 s průtoky dle normy 2007 byly všechny průtoky (kromě 2, které byly stejné) patřící mladší normě větší než průtoky patřící starší normě. Statisticky významný rozdíl se u samotných 3bodových průtoků sice nepotvrdil, ale u 1bodových, 2bodových a 3bodových průtoků dohromady už ano. Norma z roku 2022 tedy udávala statisticky významně vyšší průtoky.

Ze 44 průtoků mělo relativní odchylky od referenčních průtoků v řádu jednotek % 37 hodnot, 7 měření mělo relativní odchylky mezi 10 a 17 % (maximální odchylka na horní Mohelce, -17,4 %). 31 měření se s relativní odchylkou od ref. průtoku vešlo pod 5 % a většina těchto měření připadla na prvních 5 profilů. Zbylá měření překračující 5procentní odchylky patřila všechna oběma profilům vytyčeným na Mohelce. 2 z těchto měření byla řazena k normě z roku 2022, 5 měření k normě z roku 2007 a 6 měření k nejstarší normě. Na těchto profilech byla pouze 3 měření s odchylkami od ref. průtoku do 5 %. Stejně jako v případě středové metody měla nejstarší norma největší počet měření s většími odchylkami od ref. průtoku. V rámci jednotlivých profilů u většiny měření stoupaly relativní odchylky měření směrem od nejmladší

k nejstarší verzi normy, podobně jako u měření středovou metodou. U posledního profilu (Mohelka – spodní) měla měření odpovídající nejstarší zkoumané normě všechny odchylky větší než měření odpovídající normě z roku 2007, tedy normě s větším počtem svislic.

5 ze 7 profilů mělo všechna měření do 5 % odchylky. Kromě Botiče, Loděnice a širokého profilu na Litovickém potoce, na kterých byla všechna měření uspokojivá u středové metody, se u průměrové metody jedná i o úzký profil na Litovickém potoce a o Žehrovku. Největší relativní odchylky (až -17,4 %) vykazovala některá měření na horním a spodním profilu Mohelky. Na horním profilu Mohelky překračovala všechna měření dle nejstarší normy 10procentní velikosti odchylek. U spodního profilu pak měla největší odchylky měření provedená dle normy z roku 2007 a také 2bodové měření dle nejstarší normy.

## 6.2 Nejistoty měření dle ISO a IVE

V předchozích odstavcích jsem hodnotila jednotlivá měření podle relativních odchylek velikosti průtoku od referenčního průtoku, a taková měření, která měla odchylky do  $\pm 5\%$ , považuji za dobrá měření. Dalším kritériem hodnocení, zda se jednalo o uspokojivá měření, jsou nejistoty měření vypočítané automaticky FlowTrackerem. Jedná se o nejistoty určené metodou IVE a metodou ISO, které uvádím pro 3bodová měření získaná středovou metodou (tabulka 6). Obdobně jako u odchylek měření považuji za dobrá měření taková, která mají nejistoty měření menší než 5 %. Nejistoty měření mám uvedené i u měření referenčních (7 z 19 měření), na rozdíl od relativních odchylek tak mohu zhodnotit úspěšnost i těchto měření.

### 6.2.1 Srovnání nejistot ISO a IVE

Výchozí metodou pro výpočet nejistoty měření je u FlowTrackeru metoda IVE, která na rozdíl od ISO metody bere v potaz náhlé výrazné změny rychlosti proudění v prostoru a u měření s méně pozvolnými změnami rychlosti v šířce profilu vykazuje vyšší nejistoty. Dle Huhty a Sloata (2007) hodnotí kvalitu měření metoda IVE lépe než druhá zmíněná. Při pohledu na metodu IVE, z 19 měření jich mělo 11 nejistoty měření pod 5 %, 5 měření mělo nejistoty mezi 5 a 10 % a 3 měření měla nejistoty nad 10 % (nejvyšší 24,5 %). U ISO metody bylo dobrých (do 5 %) také 11 měření, až na 1 se jednalo o stejná měření (opět včetně ref. průtoků) jako u IVE metody. ISO nejistotu v rozmezí 5–10 % mělo všech zbylých 8 měření, přičemž nejvyšší nejistota byla 8,3 %. U měření provedených dle ISO 748 2022 (tedy referenční průtoky) byly

všechny nejistoty dle obou metod pod 5 %. U normy z roku 2007 se pod 5procentní hranici nejistoty dle obou způsobů výpočtu nejistot dostala 3 měření (Botič, Loděnice a Žehrovka, teoreticky nejideálnější měrné profily). U nejstarší normy (2001) pak byly malé nejistoty pouze u profilů Botič a Loděnice. Dle ISO i IVE tak stoupaly nejistoty měření s klesajícím počtem svislic (norma od nejmladší po nejstarší), a to na základě všech měření uvedených v této práci.

Při porovnání IVE a ISO nejistot jednotlivých měření, u 10 měření byly IVE nejistoty větší než ISO nejistoty, u 8 měření naopak, a 1 měření mělo nejistoty shodné. IVE<ISO nejistoty byly přítomné u profilů Botič, Loděnice a Litovický potok (úzký), ve všech případech šlo o dobře měřitelné profily s pozvolnými změnami rychlosti proudění. IVE>ISO nejistoty byly vypočteny na profilech Litovický potok (široký), Žehrovka a spodním profilu Mohelky. U prvního a posledního jmenovaného profilu docházelo u sousedních svislic k výrazným změnám rychlosti proudění, což pravděpodobně zapříčinilo nárůst nejistot počítaných dle IVE, v případě spodní Mohelky až na hodnoty přes 20 % u měření s menším počtem svislic. Obecně však lze říci, že v hodnocení nejistot měření se oba způsoby příliš nelišily a dané profily (s výjimkou měření dle verze 2007 na profilech Litovický potok – široký a Mohelka - horní) hodnotily z hlediska „dobré“ měření (nejistota pod 5 %) vs. „špatné“ měření (nejistota nad 5 %) shodně.

#### 6.2.2 Nejistoty měření IVE dle norem 748

Nejistoty měření u všech profilů stoupaly od nejmladší verzi normy k nejstarší, což dává smysl vzhledem k faktu, že jeden z parametrů, který vstupuje do rovnice výpočtu nejistoty měření, je určen právě počtem svislic (čím menší počet svislic, tím větší nejistota měření). Průměrné nejistoty měření IVE dle jednotlivých verzí normy ISO 748 byly 3,1 % (2022), 9,4 % (2007) a 9,2 % (2001), starší verze normy se svými nejistotami měření výrazně liší od první jmenované. Dle průměrných nejistot měření vykazuje největší hodnotu prostřední norma. Toto je ovšem dáno skutečností, že měření na prvních 2 profilech bylo stejné pro normy z let 2007 i 2022, a tudíž jsem primárně toto měření přiřadila normě aktuální. Pokud tato měření při hodnocení průměrných nejistot přiřadím i normě 2007, klesne průměrná nejistota měření dle této normy na 7,3 %. Prostřední norma má tedy průměrnou nejistotou stále blíže k normě 2001 než k normě 2022. Dále je třeba uvést, že nejvíce ovlivňují výsledky průměrných nejistot u starších norem nejistoty vypočítané na posledním profilu, které dosahují obě přes 23 %.

Následně jsem otestovala, zda se nejistoty dle jednotlivých norem mezi sebou liší i statisticky významně. Testovala jsem výběry všech nejistot dle jedné normy proti všem nejistotám dle jiné

normy (celkem 3 testy). Na hladině významnosti 0,05 není mezi normami dle Studentova testu statisticky významný rozdíl mezi nejistotami měření IVE.

### 6.2.3 Vliv vybraných parametrů na nejistotu měření

Abych zjistila, zda má na velikost nejistoty měření vliv některý z vybraných parametrů profilu (velikost průtoku, šířka toku, maximální a průměrná rychlost proudění a maximální a průměrná hloubka profilu), vypočítala jsem Personovy korelační koeficienty ( $r$ ). Korelovala jsem vždy IVE nejistoty měření s výše popsanými parametry. Všechny hodnoty v tabulce 12 se vztahují k referenčním měřením na daných profilech.

*Tabulka 12. Míra korelace nejistoty měření IVE s velikostmi průtoku, šířky, max. a prům. rychlostí proudění a hloubek dle Pearsonova korelačního koeficientu.*

<b>Tok (profil)</b>	<b>Nejistota měření IVE [%]</b>	<b>Ref. průtok [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Max. rychlost [m/s]</b>	<b>Průměrná rychlost [m/s]</b>	<b>Šířka [m]</b>	<b>Max. hloubka [m]</b>	<b>Průměrná hloubka [m]</b>
<b>Botič</b>	1,9	0,546	0,365	0,233	8,45	0,45	0,277
<b>Loděnice</b>	2,2	0,395	0,319	0,193	5,75	0,42	0,357
<b>Lit. potok (úzký)</b>	2,8	0,078	0,418	0,248	1,35	0,3	0,232
<b>Lit. potok (široký)</b>	3,7	0,071	0,22	0,121	3,25	0,42	0,181
<b>Žehrovka</b>	3,7	0,096	0,226	0,19	3,99	0,17	0,127
<b>Mohelka (horní)</b>	2,9	0,095	0,368	0,25	1,8	0,4	0,211
<b>Mohelka (spodní)</b>	4,2	0,085	0,223	0,133	2,9	0,54	0,221
<b>r IVE/par</b>	-	-0,82	-0,76	-0,70	-0,59	-0,04	-0,73

K vyhodnocení výsledných hodnot kor. koeficientů jsem použila tabulku 13 (Evans, 1996).

Tabulka 13. Verbální popis míry korelace v závislosti na absolutní hodnotě korelačního koeficientu  $r$ .

Absolutní hodnota $r$	Slovní hodnocení míry korelace
0,00–0,19	velmi slabá
0,20–0,39	slabá
0,40–0,59	střední
0,60–0,79	silná
0,80–1,00	velmi silná

Po porovnání výsledných kor. koeficientů  $r$  s tabulkou 13 vyšla míra korelace IVE s většinou parametrů jako silná až velmi silná, pouze u korelace IVE s šířkou jako střední a u korelace s max. hloubkou jako velmi slabá (nejmenší  $r = -0,04$ ). Největší míru korelace vykazovala nejistota IVE s velikostí referenčního průtoku ( $-0,82$ ). Hodnoty kor. koeficientů  $r$  vyšly ve všech případech záporné, tudíž hodnoty parametrů, pro které vyšly silná a velmi silná míra korelace, s rostoucí nejistotou IVE spíše klesaly. Lze tedy na základě mých měření říci, že nejistota měření klesá s rostoucím průtokem, rostoucí rychlostí (průměrnou i maximální) proudění, rostoucí šířkou a průměrnou hloubkou na daném profilu.

#### 6.2.4 Srovnání nejistot a relativních odchylek

Jelikož mám hodnoty nejistot pouze pro průtoky vypočtené středovou metodou, srovnám je s relativními odchylkami naměřenými na průtocích taktéž vypočítaných středovou metodou. Dle aktuálně platné normy (2022) byly relativní odchylky měření od referenčního průtoku v drtivé většině měření pod 5 % obdobně jako u IVE a ISO nejistot měření. Nejstarší zkoumaná norma měla jak u odchylek, tak u nejistot, většinově největší hodnoty těchto ukazatelů ze všech 3 verzí normy 748. Měření s nejmenšími odchylkami stejně jako s nejmenšími nejistotami byla na Botiči a na Loděnici, tyto profily ukazovaly velmi malé rozdíly od referenčního průtoku i při použití více než polovičního počtu svislic, a to pravděpodobně díky pravidelnému průtočnému profilu s pozvolnými změnami v rychlostech proudění. Ukázalo se tedy, že zejména na rovnoměrných profilech s většími průtoky a šířkami ukazují hodnoty relativních odchylek velmi dobře i správnost měření, a to bez ohledu na použitou verzi normy. Zároveň to naznačuje, že původní zvolení nejpodrobnějších měření za referenční průtoky bylo správnou volbou, a takto zvolené průtoky lze využívat jako referenční i v budoucích měřeních.

Ač jsou dle relativních odchylek velice dobrá i měření na širokém profilu Litovického potoka, podobně jako dle ISO nejistot, nejistoty IVE byly v případě měření s menším počtem svislic i v kontextu měření na ostatních profilech vyšší. Vzhledem k nepřiliš vhodnému průtočnému profilu (výrazné zvýšení hloubek i rychlostí proudění a dílčích průtoků uprostřed profilu) pokládám vysoké IVE nejistoty u měření dle starších verzí normy za odpovídající charakteru proudění, a malé odchylky průtoku spíše za šťastnou náhodu. Pokud se podívám na velikosti průtoku i charakterem průtočného průřezu podobný profil (spodní Mohelka, zde se ovšem oblast s velkými hloubkami a většinou proudění nacházela u břehu, a ne uprostřed profilu), jsou u měření s nižším počtem svislic vysoké jak odchylky průtoků, tak nejistoty měření.

### 6.3 Průměrné rychlosti proudění dle různých bodových metod

Dle statistických testů byl rozdíl průměrných rychlostí vypočítaných dle různých bodových metod v rámci jednotlivých profilů statisticky nevýznamný na všech testovaných profilech s výjimkou jednoho (Mohelka horní). Při bližším pohledu na jednotlivá bodová měření udělaná na řečeném profilu, ze kterých se průměrné rychlosti počítaly, se některá učiněná ve 20procentní hloubce ode dna ukázala vzhledem k ostatním bodovým měřením na stejných svislicích jako výrazně nižší, než obdobná měření učiněná na jiných svislicích (i jiných profilech). Z tohoto důvodu pravděpodobně vyšly statisticky významné rozdíly mezi 3bodovou a 2bodovou, 3bodovou a 1bodovou i mezi 2bodovou a 1bodovou metodou.

Otestovala jsem i všechny průměrné rychlosti dle všech bodových metod ze všech profilů (včetně horní Mohelky) dohromady, a rozdíly mezi jednotlivými výběry vyšly statisticky významné. Když jsem ovšem provedla testy na výběrech, ve kterých byly rychlosti ze všech zájmových profilů kromě horní Mohelky, rozdíly mezi jednotlivými bodovými metodami vyšly naopak statisticky nevýznamné. Domnívám se, že důvodem, proč se profil horní Mohelka v tomto ohledu odlišuje od ostatních testovaných profilů, může být charakter toku v místě profilu. Na toku docházelo k tvorbě nového meandru a nešlo tedy o obecně doporučovaný přímý úsek toku. Toto mohlo mít za následek rozdílnou vertikální distribuci rychlostí proudění.

U ostatních profilů se zdá, že v rámci jednotlivých měrných svislic vycházejí podobné průměrné rychlosti, ať se použije 3bodová, 2bodová nebo 1bodová metoda. S tímto zjištěním konvenuje fakt, že norma ISO 748 ani v jedné své verzi nedává doporučení, jakou bodovou metodu použít, protože metody na většině profilů dávají výsledky se statisticky nevýznamnými

rozdíly. Boiten (2005) doporučuje využívat do hloubek 25 cm 1bodovou, v hloubkách mezi 25 a 50 cm 2bodovou a nad 50 cm 3bodovou metodu. Drtivá většina mých měření probíhala v hloubkách do 50 cm, a tudíž jsem na některých svislicích v případě 3bodových měření měřila nad rámec jeho doporučení. V budoucnosti by bylo dobré prověřit, zda jsou statisticky nevýznamné rozdíly mezi bodovými metodami i ve větších hloubkách nad 50 cm, aby se mohl lépe zhodnotit význam Boitenova doporučení.

### 6.3.1 Velikosti průtoků dle bodových metod

U středové metody měření průtoků vyšly statistické testy výběrů průtoků pocházejících z různých bodových metod měření na svislici stejně jako v případě testů provedených na průměrných rychlostech, tedy že rozdíly jsou statisticky významné na výběru všech průtoků a statisticky nevýznamné na výběrech bez průtoků z profilu horní Mohelka. Tento konkrétní profil se opět jevil jako anomální a přikláním se tedy spíše k variantě, že mezi bodovými metodami skutečně nejsou stat. významné rozdíly. U průměrové metody stejně jako u obou metod dohromady už nějaký jednotný trend vidět není. Bylo by dobré v budoucnu prověřit, zda má rozdílně definovaná metoda výpočtu průtoků (např. jiná dílčí průtočná plocha) vliv na výsledky průtoků z hlediska rozdílných bodových metod.

### 6.4 Rozdíl mezi středovou a průměrovou metodou

V této podkapitole hodnotím relativní odchylky průtoků naměřených středovou metodou od průtoků vypočítaných průměrovou metodou. Pracovala jsem s průtoky naměřenými 3bodovou metodou. Na Botiči byl průtok dle středové metody o 1,5–3,3 % (průměr 2,4 %) vyšší než u průměrové metody, na Loděnici o 0,5–2,8 % (pr. 1,6 %), na úzkém profilu Litovického potoka o 1,3–14,1 % (pr. 7,8 %), na širokém profilu tamtéž o 0,0–2,9 % (pr. 1,0 %), na Žehrovce o 2,1–10,8 % (pr. 6,4 %), na horní Mohelce o 3,3–16,7 % (pr. 10,9 %) a na spodním profilu Mohelky o 2,4–32,0 % (pr. 15,2 %). V první řadě je zřejmé, že až na 2 měření provedená na širokém profilu Litovického potoka dle norem ISO 748 2022 a 2007 (průtoky dle středové a průměrové metody shodné) vykazovala středová metoda vyšší průtoky než průměrová. Toto souhlasí se Šebovou et al. (2010), která uvádí, že při porovnání vypočítaných průtoků oběma metodami z totožných měření udává středová metoda stabilně mírně vyšší velikosti průtoků než průměrová metoda. Zároveň jsem Studentovým t-testem prokázala, že hodnoty průtoků dle



středové metody jsou statisticky významně vyšší než hodnoty dle průměrové metody. Procentuální velikosti odchylek středové metody od průměrové rostly v rámci jednotlivých profilů s klesajícím počtem svislic, tedy největší odchylky byly u měření splňujících nejstarší verzi normy. U měření dle normy z roku 2022 byla nejvyšší relativní odchylka středové od průměrové metody 3,3 % (Mohelka horní profil), u normy z roku 2007 pak 12,6 % (Mohelka horní profil) a u nejstarší normy 32 % (Mohelka spodní profil). Z pohledu profilů byly nejmenší odchylky na Botiči, Loděnici a na širokém profilu Litovického potoka.

Jedním z důvodů, proč jsou hodnoty průtoků vypočítané středovou metodou stabilně vyšší než hodnoty vypočítané průměrovou metodou, by mohl být rozdílný přístup obou metod k břehovým svislicím, tedy svislicím, na kterých se rychlost proudění neměří. U středové metody se oběma krajním svislicím přiřazuje průměrná rychlost proudění naměřená na svislici sousední, tedy hodnoty z první a poslední měrné svislice. U průměrové metody se krajním svislicím přisuzuje nulová rychlost. Tuto domněnku podporují nízké rozdíly mezi středovou a průměrovou metodou na širokém profilu Litovického potoka (0,0–2,9 %). Tento profil měl největší dílčí průtoky uprostřed profilu a při březích byly průtoky naopak téměř nulové, čímž by se tento efekt břehových dílčích průtoků minimalizoval. Tuto domněnku podporuje i skutečnost, že rozdíly mezi oběma metodami klesaly s vyšším počtem svislic, tedy s menším podílem břehových průtoků na celkovém. Zda je tato myšlenka správná by ovšem bylo potřeba ověřit na dalších měřeních, ideálně na profilech, které nemají břehové svislice s hloubkou 0 m (u středové metody se přilehlé dílčí průtoky rovnají také 0, viz. podkapitola 4.1).

Největší rozdíl mezi středovou a průměrovou metodou byl na spodním profilu Mohelky, a to až 32 % s průměrem 15,2 %. Tento profil byl při srovnání s ostatními nejméně vhodný pro měření touto metodou. V profilu docházelo k velkým změnám v hloubce i v rychlostech proudění na malé vzdálenosti a uprostřed se nacházela překážka proudění v podobě velkého kamene. Je možné, že parametry profilu přispěly k tak velkým rozdílům, stejně jako u břehových dílčích průtoků by ovšem bylo vhodné toto prověřit na dalších profilech.

## 7. Závěr

V rešeršní části diplomové práce představuji rychlostní metodu měření průtoků z hlediska volby měrného profilu, principu, délky měření a přesnosti. Speciální pozornost věnuji přístroji FlowTracker, který jsem použila k měření průtoků v praktické části práce. Popisuji vývoj,

princip měření a konstrukci přístroje. Vysvětluji podrobně celý postup měření tímto přístrojem, včetně možnosti nastavení různých šablon pro měření a procesu úpravy dat po skončení měření.

Dále v rešerši představuji normu zabývající se měřením průtoku rychlostními metodami ISO 748 a hodnotím, k jakým změnám v ní došlo v průběhu jednotlivých aktualizací mezi roky 2001 a 2022. Hlavní změnou bylo postupné zvyšování minimálního počtu svislic u toků s šířkami do 5 m, na kterých se měří rychlosti proudění a následně se z nich počítají průtoky. Také představuji nejznámější bodové metody výpočtu průměrné rychlosti na svislici a metody výpočtu celkového průtoku z oněch průměrných rychlostí – středovou a průměrovou metodu.

V rámci praktické části práce se zabývám měřením průtoku na menších povrchových tocích Botič, Loděnice, Litovický potok, Žehrovka a Mohelka (dohromady 7 profilů na 5 tocích). Měrné profily jsem volila tak, aby co nejlépe splňovaly předpoklady pro správné měření rychlostní metodou, u většiny profilů (kromě těch na Mohelce) jsem měřila v blízkosti vodoměrné stanice Českého hydrometeorologického ústavu, abych mohla kontrolovat, že v průběhu měření nedochází k výrazným změnám ve velikosti průtoku. Měřila jsem průtoky s přihlédnutím k rozdílným požadavkům na minimální počty svislic dle 3 různých verzí normy ISO 748. Na 5 profilech s šířkami menšími než 5 m jsem provedla po 3 měřeních, na 2 profilech s většími šířkami jsem udělala po 2 měřeních (dohromady 19 nezávislých měření). Velikosti naměřených průtoků jsem následně porovnávala v rámci různých norem a použitých metod měření.

Při srovnání velikosti průtoků měřených dle norem z let 2022 a 2007 vyšly u většiny měření statisticky nevýznamné rozdíly, a to jak pro vyhodnocení pomocí středové, tak i průměrové metody. Z tohoto úhlu pohledu se tedy jevila měření dle norem 2022 a 2007 jako obdobně využitelná. Při srovnání průtoku dle norem z let 2022 a 2001 u středové metody ale statisticky významný rozdíl vyšel, přičemž starší norma vykazovala systematicky vyšší průtoky než norma aktuální (z roku 2022).

V rámci většiny profilů u středové i průměrové metody platilo, že relativní odchylky daných průtoků od referenčních průtoků se zvyšovaly se snižujícím se počtem svislic. Co více, pouze měření provedená dle platné normy z roku 2022 vykazovala nejistotu měření (dle IVE a dle ISO metody) na všech měřených profilech nižší než 5 %, což je obecně hranice označující dobrou měření. U srovnání hodnot IVE nejistot a relativních odchylek od referenčních průtoků měla aktuálně platná norma tyto ukazatele obdobně nízké (pod 5 %), nejstarší norma měla naopak nejistoty a odchylky ze všech 3 norem nejvyšší. U Botiče a Loděnice, profilů s největšími

šířkami, se dle hodnot nejistot i odchylek ukázaly průtoky dle normy 2001 obdobné jako průtoky dle 2022, což naznačuje, že u dostatečně širokých a rovnoměrných profilů je dostatečně přesné i měření s více než polovičním počtem svislic, a že na přesnost jednotlivých měření můžou mít výrazný vliv vedle počtu svislic i vlastnosti měrného profilu. Dle korelačních koeficientů se ukázala silná až velmi silná závislost mezi velikostí nejistoty měření a několika parametry průtoky. Jednalo se o velikost průtoky, průměrnou a maximální rychlost a průměrnou hloubku na profilu, přičemž s jejich klesajícími hodnotami nejistota měření stoupala.

Při zkoumání velikostí průměrných rychlostí vypočítaných dle 3 rozdílných bodových metod se neprokázaly statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými metodami u 6 ze 7 profilů. Tento poznatek je v souladu s faktem, že v normě ISO 748 není žádné doporučení, v jakých případech danou bodovou metodu použít. Lišící se profil byl horní Mohelka, který byl jako jediný ze zbylých profilů vytyčen v mírné zákrutě, což mohlo zapříčinit rozdílný vertikální rychlostní profil na svislicích. Pokud je tedy průtočný profil vytyčen na vhodném místě, zkoumané bodové metody dávají v hloubkách do 0,5 m podobné výsledky. Obdobně, u středové metody vyšly hodnoty průtoky změřené pomocí různých bodových metod bez statisticky významného rozdílu, na rozdíl od průměrové metody, u které se tyto průtoky v některých případech odlišovaly.

U porovnání průtoků vypočtených dle středové metody s průtoky vzešlými z průměrové metody vycházely hodnoty z prvně zmíněné metody stabilně vyšší než z druhé, což souhlasilo s poznatkami uvedenými v literatuře. V rámci jednotlivých profilů stoupaly relativní odchylky jedné metody od druhé s klesajícím počtem svislic, a odchylky mezi oběma metodami byly do 5 % pouze u aktuálně platné normy z roku 2022. U většiny profilů vycházely průměrné odchylky průměrové metody od středové v jednotkách %, u profilů na Mohelce vyšly v průměru 10,9 a 15,2 %, přičemž nejvyšší odchylka byla na spodním profilu Mohelky (32 %). Zda má na rozdíly mezi jednotlivými metodami vliv spíše výpočet dílčích průtoků u břehu, nebo v prostředku toku by mohlo být předmětem dalšího výzkumu.

Závěrem lze říci, že nejnižší nejistoty měření i relativní odchylky, spolu s naplněním kritéria pro dobré měření (nejistota pod 5 %), vykazovala na všech měrných profilech pouze aktuálně platná verze normy ISO 748 z roku 2022. Při měření dle starších verzí docházelo častěji k horším výsledkům těchto ukazatelů i k vyššímu výskytu nežádoucích jevů, jako jsou příliš vysoké dílčí průtoky. Zpřísnění normy v podobě vyšších minimálních počtů svislic se jeví tedy jako správné.

Skutečnost, že norma nedoporučuje v závislosti na hloubce na svislici měřit na různém počtu bodů, odpovídá zjištěním, že průměrné rychlosti (respektive průtoky dle středové metody) vzešlé z různých bodových metod byly podobné. U průměrové metody je dále nutné toto otestovat na více profilech.

## 8. Reference

- BOITEN, W., 2005. *Hydrometry: The Delft Lecture Note Series*. Revised edition. Rotterdam: A. A. Balkema. ISBN 0-203-97109-4.
- COHN, T. A., J. E. KIANG a R. R. MASON, 2013. *Estimating Discharge Measurement Uncertainty Using the Interpolated Variance Estimator*. Journal of Hydraulic Engineering. **139**(5), 502-510. ISSN 0733-9429. Dostupné z: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000695](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000695).
- ČSN EN ISO 748, 2001. *Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole*. Třetí vydání. Praha: Český normalizační institut.
- ČSN EN ISO 748, 2022. *Hydrometrie – Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole s použitím bodových měření*. Páté vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- EVANS, J. D., 1996. *Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences*. Thomson Brooks/Cole Publishing Co. ISBN 13: 9780534231002.
- HUHTA, C. a J. SLOAT, 2007. *Discharge Uncertainty Calculations Using a SonTek FlowTracker*. San Diego: SonTek/YSI.
- ISO 748, 2007. *Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current meters or floats*. Fourth edition. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- JI, J.-Y. et al., 2013. *Analysis and Comparison of Flow Rate Measurements Using Various Discharge Measuring Instrument and ADCP*. Journal of Environmental Science International. **22**(2), 251-257. ISSN 1225-4517. Dostupné z: <https://doi.org/10.5322/JESI.2013.22.2.251>.
- JOHN, P. H., 1978. *Discharge Measurement in Lower Order Streams*. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie. **63**(6), 731-755. Dostupné z: [doi:10.1002/iroh.19780630602](https://doi.org/10.1002/iroh.19780630602).
- KŘÍŽ, V., et al., 1988. *Hydrometrie*. Praha: SPN. Učebnice pro vys. školy. ISBN (Váz.).
- MATTAS, D., 2001. *Praktické cvičení z hydrometrie: návod*. ČVUT v Praze, Stavební fakulta, katedra hydrauliky a hydrologie. Praha.
- MORLOCK, S. E. a G. T. FISHER, 2002. *Hydroacoustic Current Meters for the Measurement of Discharge in Shallow Rivers and Streams*. Colorado.

REHMEL, M., 2007. *Application of Acoustic Doppler Velocimeters for Streamflow Measurements*. *Journal of Hydraulic Engineering*. **133**(12), 1433-1438. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:12(1433)

SCHUGERL, R., Y. VELISKOVA a T. KIMLICKOVA, 2019. *Comparison of the discharge and flow velocity values determined by ADV device and indicator method*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 362. ISSN 1755-1315. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012056>.

SHAW, E. M., 1994. *Hydrology in practice*. Third edition. London: Chapman & Hall. ISBN 0-412-48290-8.

SONTEK, 2019. *FlowTracker2: USER'S MANUAL 1.6*. San Diego.

SOUPIR, M. L., S. MOSTAGHIMI a C. E. MITCHEM, JR., 2009. *A Comparative Study of Stream-Gaging Techniques for Low-Flow Measurements in Two Virginia Tributaries*. *Journal of the American Water Resources Association*. **45**(1), 110-122. Dostupné z: doi:10.1111/j.1752-1688.2008.00264.x

ŠEBOVÁ, E., R. DULOVIČOVÁ a Y. VELÍSKOVÁ, 2010. *Porovnanie meraní prietoku hydrometrovacím krídlom a digitálnym prístrojom FlowTracker na toku Vydrica*. *Acta Hydrologica Slovaca*. **11**(2), 227-233.

TUČANOVÁ, K., 2021. *Metody měření průtoku vody v povrchových tocích*. Bakalářská práce. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy.

YORKE, T. H. a K. A. OBERG, 2002. *Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers*. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2002, **13**(5-6), 191-195. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0955-5986\(02\)00051-1](https://doi.org/10.1016/S0955-5986(02)00051-1)

## 9. Seznam obrázků

- **Obr. 1.** Znázornění a) středové a b) průměrové metody výpočtu průtoku, vyšrafované oblasti označují dílčí průtočné plochy.
- **Obr. 2.** Znázornění stavby 2D sondy přístroje FlowTracker s oblastí odrazu (upraveno dle SonTek, 2019).
- **Obr. 3.** Kartézská soustava souřadnic orientovaná vzhledem k a) 2D sondě a b) 2D/3D sondě (upraveno dle SonTek, 2019).
- **Obr. 4.** Orientace sondy vzhledem k převládajícímu směru proudění, a) klasická pozice, b) otočení o 180°, pohled shora (upraveno dle SonTek, 2019).
- **Obr. 5.** Barevné rozlišení procentuálních velikostí dílčích průtoků vzhledem k celkovému průtoku. Zelená do 5 %, žlutá 5–10 % a červená nad 10 %. Výstup ze softwaru FlowTrackeru, profil Loděnice.
- **Obr. 6.** Fotografie měrných profilů, a) Botič, b) Loděnice, c) Litovický potok (úzký), d) Žehrovka, e) Mohelka (horní), f) Mohelka (spodní).
- **Obr. 7.** Znázornění velikostí dílčích průtoků na Botiči, středová metoda.
- **Obr. 8.** Znázornění velikostí dílčích průtoků na Loděnici, středová metoda.
- **Obr. 9.** Znázornění velikostí dílčích průtoků na úzkém profilu Litovického potoka, středová metoda.
- **Obr. 10.** Znázornění velikostí dílčích průtoků na širokém profilu Litovického potoka, středová metoda.
- **Obr. 11.** Znázornění velikostí dílčích průtoků na Žehrovce, středová metoda.
- **Obr. 12.** Znázornění velikostí dílčích průtoků na horním profilu Mohelky, středová metoda.
- **Obr. 13.** Znázornění velikostí dílčích průtoků na spodním profilu Mohelky, středová metoda.

## 10. Seznam tabulek

- **Tabulka 1.** Minimální počet svislic při bodovém měření průtoku rychlostní metodou - dle ISO 748 (2001).
- **Tabulka 2.** Minimální počet svislic při bodovém měření průtoku rychlostní metodou dle ISO 748 (2007).
- **Tabulka 3.** Minimální počet svislic při bodovém měření průtoku rychlostní metodou dle ISO 748 (2022).
- **Tabulka 4.** Jednotlivé toky a profily, jejich lokalita, průtok dle vodoměrné stanice ČHMÚ, šířka profilu a minimální počet svislic dle ISO 748 (2001, 2007 a 2022).

- **Tabulka 5.** Hodnoty průtoků naměřené vodoměrnými stanicemi v blízkosti měrných profilů, referenční průtoky pro středovou a průměrovou metodu a relativní odchylky průtoků z vodoměrné stanice od referenčních průtoků.
- **Tabulka 6.** Hodnoty průtoků ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) naměřené a vypočítané středovou a průměrovou metodou, a nejistoty měření vypočítané dle IVE a ISO metody pro referenční průtoky dle středové metody; oranžově podbarvené hodnoty referenčních průtoků.
- **Tabulka 7.** Rozlišení, zda je dle Studentova t-testu statisticky významný rozdíl mezi průtoky naměřenými dle různých verzí normy ISO 748, A – ano, N – ne.
- **Tabulka 8.** Relativní odchylky (%) naměřených a vypočítaných průtoků od referenčních průtoků. Prázdné kolonky („-“) označují chybějící hodnoty nebo referenční průtok (podbarveno oranžově), který nemá smysl srovnávat.
- **Tabulka 9.** Relativní odchylky (%) průtoků získaných středovou metodou od průtoků získaných průměrovou metodou a aritmetický průměr odchylek. „-“ značí chybějící hodnoty, oranžově podbarvené jsou relativní odchylky referenčních průtoků.
- **Tabulka 10.** Rozlišení, zda jsou mezi průměrnými rychlostmi dle různých typů měření (počet bodů na svislici) statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05 dle Studentova t-testu, A – ano, N – ne.
- **Tabulka 11.** Rozlišení, zda je na hladině významnosti 0,05 dle Studentova testu statisticky významný rozdíl mezi průtoky pocházejícími z odlišných bodových měření, A – ano, N – ne.
- **Tabulka 12.** Míra korelace nejistoty měření IVE s velikostmi průtoků, šířky, max. a prům. rychlostí proudění a hloubek dle Pearsonova korelačního koeficientu.
- **Tabulka 13.** Verbální popis míry korelace v závislosti na absolutní hodnotě korelačního koeficientu r.



## 11. Přílohy

V přílohách jsou tabulky s průměrnými rychlostmi vypočítanými na jednotlivých profilech dle zkoumaných bodových metod.

### Příloha 1. Botič – průměrné rychlosti

rychlost 1bodová metoda [m/s]	rychlost 2bodová metoda [m/s]	rychlost 3bodová metoda [m/s]
0,259	0,246	0,252
0,261	0,254	0,257
0,292	0,27	0,281
0,293	0,3065	0,3
0,309	0,3255	0,317
0,333	0,305	0,319
0,32	0,318	0,319
0,292	0,2895	0,291
0,275	0,277	0,276
0,298	0,2965	0,297
0,264	0,271	0,267
0,235	0,237	0,236
0,206	0,229	0,218
0,202	0,213	0,207
0,178	0,1895	0,184
0,164	0,1715	0,168
0,261	0,264	0,263
0,322	0,316	0,319
0,325	0,315	0,32
0,3	0,291	0,295
0,215	0,235	0,225
0,188	0,201	0,195

### Příloha 2. Loděnice – průměrné rychlosti

rychlost 1bodová metoda [m/s]	rychlost 2bodová metoda [m/s]	rychlost 3bodová metoda [m/s]
0,113	0,091	0,102
0,103	0,113	0,108
0,162	0,147	0,154
0,201	0,197	0,199
0,224	0,215	0,219
0,226	0,24	0,233
0,252	0,269	0,26
0,267	0,273	0,27

0,276	0,217	0,247
0,261	0,234	0,247
0,248	0,26	0,254
0,25	0,249	0,25
0,288	0,266	0,277
0,236	0,23	0,233
0,198	0,232	0,214
0,212	0,216	0,214
0,178	0,19	0,184
0,155	0,159	0,157
0,157	0,15	0,153
0,158	0,172	0,165
0,088	0,083	0,085
0,008	0,024	0,016
0,144	0,131	0,138
0,213	0,204	0,208
0,249	0,257	0,253
0,257	0,288	0,272
0,253	0,237	0,245
0,274	0,272	0,273
0,229	0,215	0,222
0,182	0,185	0,183
0,131	0,151	0,141
0,074	0,061	0,067

**Příloha 3.** Litovický potok (úzký) – průměrné rychlosti

<b>rychlost 1bodová metoda [m/s]</b>	<b>rychlost 2bodová metoda [m/s]</b>	<b>rychlost 3bodová metoda [m/s]</b>
0,316	0,28	0,298
0,286	0,291	0,288
0,267	0,286	0,276
0,259	0,303	0,281
0,293	0,305	0,299
0,33	0,322	0,326
0,359	0,341	0,35
0,343	0,317	0,33
0,323	0,305	0,314
0,296	0,301	0,298
0,296	0,302	0,299
0,35	0,335	0,343
0,324	0,275	0,299
0,307	0,291	0,299
0,336	0,349	0,343

**Příloha 4.** Litovický potok (široký) – průměrné rychlosti

<b>rychlost 1bodová metoda [m/s]</b>	<b>rychlost 2bodová metoda [m/s]</b>	<b>rychlost 3bodová metoda [m/s]</b>
0,179	0,192	0,185
0,192	0,186	0,189
0,175	0,18	0,177
0,171	0,177	0,174
0,146	0,138	0,142
0,073	0,103	0,088
0,173	0,189	0,181
0,194	0,192	0,193
0,156	0,147	0,151
0,064	0,074	0,069
0,179	0,181	0,18
0,157	0,161	0,159

**Příloha 5.** Mohelka (horní) – průměrné rychlosti

<b>rychlost 1bodová metoda [m/s]</b>	<b>rychlost 2bodová metoda [m/s]</b>	<b>rychlost 3bodová metoda [m/s]</b>
0,292	0,126	0,209
0,299	0,267	0,283
0,312	0,272	0,292
0,284	0,236	0,26
0,303	0,299	0,301
0,317	0,298	0,308
0,313	0,29	0,301
0,285	0,289	0,287
0,293	0,269	0,281
0,29	0,266	0,278
0,235	0,247	0,241
0,312	0,291	0,302
0,288	0,292	0,29
0,296	0,281	0,289
0,27	0,263	0,267
0,276	0,251	0,263
0,292	0,291	0,291
0,245	0,234	0,239

**Příloha 6.** Mohelka (spodní) – průměrné rychlosti

<b>rychlost 1bodová metoda [m/s]</b>	<b>rychlost 2bodová metoda [m/s]</b>	<b>rychlost 3bodová metoda [m/s]</b>
0,125	0,093	0,109
0,117	0,127	0,122
0,14	0,156	0,148
0,19	0,21	0,2
0,218	0,223	0,22
0,195	0,178	0,186
0,128	0,128	0,128
0,142	0,119	0,13
0,156	0,13	0,143
0,124	0,118	0,121
0,217	0,219	0,217
0,114	0,11	0,112
0,14	0,133	0,137
0,226	0,219	0,223