

**Zpráva k závěrečné oponentuře úkolu PRM 2020 č. VIII/9/20**

**Posouzení vybraných metrologických  
charakteristik měřidel bodové rychlosti  
vodního proudu využívající  
elektromagnetického principu měření**

Objednatel: **Úřad pro technickou normalizaci, metrologii  
a státní zkušebnictví**  
Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1  
IČ: 48135267; DIČ: CZ48135267

Odpovědný řešitel: **Ing. Michal Žoužela, Ph.D.**

Spoluřešitel: Ing. Pavel Zubík, Ph.D.; Bc. Martin Vítů

Pracoviště: **Vysoké učení technické v Brně**  
**Fakulta stavební, Ústav vodních staveb**  
**Laboratoř vodohospodářského výzkumu**  
Veveří 331/95, 602 00 Brno  
IČ: 216305; DIČ: CZ216305

Číslo zakázky: HS122057091

Datum zpracování: **17. 11. 2020**

**Ing. Michal Žoužela, Ph.D.**  
odpovědný řešitel

**prof. Ing. Jan Šulc, CSc.**  
vedoucí Ústavu vodních staveb

## 1. Úvod

Měření bodové rychlosti proudu pro potřeby určení průtoku metodou rychlostního pole patří mezi základní úkoly v oblasti stanovení průtoku v profilech s volnou hladinou. S rozvojem průmyslu a celkovou modernizací technologií dochází i v této oblasti ke značnému rozvoji procesní instrumentace.

Obvykle se pro měření bodové rychlosti proudu používají vodoměrné vrtule s rotačním prvkem, které jsou v oblasti úředního měření průtoku v profilech s volnou hladinou jediným schváleným měřidlem. Rozvoj v této oblasti nespočívá jen v rozvoji samotných vodoměrných vrtulí s rotačním prvkem, ale i v použití technologií využívajících jiných principů.

Takovými měřidly jsou měřidla elektromagnetická. Tato měřidla rozšiřují svým uživatelům možnosti využití a dovolují jim měřit bodovou rychlost proudu i v místech, kde by to s vodoměrnými vrtulami s rotačním prvkem bylo velmi komplikované či nebylo možné vůbec. Jedná se především o měření prováděná v profilech kanalizačních tratí se silně znečištěnou odpadní vodou obsahující látky ulpívající na propeleru vodoměrné vrtule a znemožňující dosažení správnosti měření.

Mnoho měřících skupin (i autorizovaných subjektů) využívá těchto „nových“ měřidel bodových rychlostí, nemohou je však využívat pro potřeby úředního měření. V posledních letech tak byl Referát posuzování způsobilosti při ČMI dotazován na možnost „legalizace“ použití i jiných měřidel bodových rychlostí pro potřeby úředního měření.

Na základě těchto dotazů a diskuzí se zástupci ÚNMZ, ČMI, SOVAK ČR a s řadou úředních měřičů byly v roce 2018 a 2019 zpracovány dva úkoly Plánu rozvoje metrologie (PRM), které posuzovaly vlastnosti a možnosti využití předmětných měřidel bodových rychlostí pro oblast úředního měření průtoku.

Vedle teoretické části byly oba úkoly zaměřeny především na posouzení mezilehlé preciznosti (replikovatelnosti) a variabilitu (rozptyl) měřených rychlostí vykazovanými předmětnými měřidly. Dále se oba úkoly zabývaly sledováním a analýzou stability měření nulové hodnoty rychlosti. Úkoly byly provedeny s celkem šesti pravidelně v intervalu dvou měsíců zapůjčovanými měřidly.

Úkol v roce 2019 byl uzavřen s doporučením, že měřidla pracující na elektromagnetickém principu jsou podmíněně vhodná pro potřeby subjektů autorizovaných pro úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou. Tou podmínkou je nutná validace měřicí schopnosti těchto měřidel v podmínkách reálných proudových poměrů, kde je třeba „doposoudit“ některé aspekty, jež nebyly zkoumány a staly se tak hlavní náplní řešení předloženého úkolu pro rok 2020.

Úkol tak na výsledky z předešlých let navazuje s tím, že je zachováno pravidelné sledování výše uvedených metrologických charakteristik s rozšířením o měření turbulence proudu a jeho analýzu v podmínkách reálného proudění v měrných laboratorních tratích. Tyto výsledky jsou shrnuty v příloze č. 2 předloženého úkolu.

Součástí úkolu pro rok 2020 je i posouzení směrové citlivosti snímačů. Právě směrové charakteristiky dvou vybraných snímačů EMI měřidel v podmínkách simulovaného šikmého proudění tak, jak jej definuje ČSN EN ISO 748, jsou obsahem přílohy č. 1 této zprávy.

Zhodnocení chování měřidel v podmínkách turbulentního proudění v reálných tratích je následně zpracováno v příloze č. 3.

Příloha č. 4 obsahuje plánovací list úkolu.

## 2. Zhodnocení průběhu prací

Úkol pro rok 2020 pokračuje ve sběru experimentálních dat tak, jak byl prováděn již v roce 2018 a 2019. Interval mezi pravidelným sběrem dat je však na základě dosud dosažených výsledků ze dvou měsíců prodloužen na tři až čtyři měsíce.

Úkol je realizován na pracovišti řešitele a zaměřen opět na posouzení především metrologických charakteristik předmětných měřidel v podmínkách s kalibrovanými proudovými poměry ve speciální kalibrační trati. Výsledky jsou v průběhu roku 2020 společně s daty získanými v roce 2018 a 2019 postupně vyhodnocovány. Prezentace veškerých dosažených výsledků v této oblasti bude uskutečněna při závěrečné oponentuře úkolu.

V první polovině roku 2020 jsme se vedle sledování dlouhodobých charakteristik EMI-měřidel zaměřili na citlivost jejich snímačů při odchýlení od směru natékajícího proudu. Zkoušky byly prováděny se dvěma EMI měřidly. Jedno je ve vlastnictví řešitele a druhé bylo zapůjčeno od společnosti BVK, a.s.

Zkoušky týkající se správnosti měření posuzovaných měřidel za reálných proudových podmínek simulovaných v otevřených hydraulických tratích byly realizovány v druhé polovině roku 2020 a dosažené výsledky jsou uvedeny v této zprávě k závěrečné oponentuře.

## 3. Závěry dosažené v rámci zpracování úkolu

V následující kapitole budou shrnuty zásadní výstupy získané z provedených experimentů, které byly realizovány během uplynulých tří let. Závěry odpovídají členění příloh, jež jsou součástí této závěrečné zprávy úkolu.

### 3.1 Směrová citlivost EMI měřidel

V následujících odstavcích jsou stručně shrnuty závěry, které vyplývají z prací provedených v první polovině roku 2020 a prezentovaných v příloze č. 1 úkolu.

1. Experimentálním zkouškám byla podrobena dvě EMI-měřidla. Jednalo se o měřidlo MF Pro (výrobce OTT Hydromet) a měřidlo Flo-Mate 2000 (výrobce Marsh McBirney).
2. Měřidla byla podrobena simulovaným zkouškám postupného natáčení jejich snímačů v proudu hydraulického měrného žlabu v laboratořích řešitele. Tato měření směrové citlivosti byla prováděna ve dvou na sebe vzájemně kolmých rovinách. V rovině horizontální v rozsahu úhlu od  $-6^\circ$  do  $+20^\circ$  a v rovině vertikální v rozsahu úhlů  $\pm 10^\circ$ .
3. U měřidla MF Pro lze jeho směrovou charakteristiku v oblasti nízkých úhlů odklonu snímače měřidla od směru natékajícího proudu do  $\pm 10^\circ$  chápat jako komponentní. Tato vlastnost se prokázala jak v rovině horizontální, tak prakticky i v rovině vertikální. Budeme-li chtít tedy měřidlo tohoto typu použít při výskytu „šikmého“ proudění, lze to provést tak, že vykazované rychlosti adekvátně korigujeme cosinem úhlu příslušného odklonění.
4. V případě měřidla Flo-Mate 2000 nebyly komponentní vlastnosti prokázány. Korekce v případě šikmého proudění je realizovatelná pouze tak, že bude využito výsledků našich experimentů.
5. Z dosažených výsledků vyplývá, že v případech, kdy je měření prováděno například ve znečištěné vodě, a poloha snímače měřidla není vizuálně kontrolovatelná, je třeba měřidlo umístit do „správného“ směru vůči natékajícímu proudu. Minimalizujeme tak

vznik chyby měření rychlosti, která je v tomto případě prakticky vždy nižší než její předpokládaná hodnota. Tato skutečnost ostatně platí i pro klasické vodoměrné vrtule.

6. V případě použití EMI měřidel v oblasti autorizovaného měření průtoku v profilech s volnou hladinou je stejně tak, jako při měření vodoměrnými vrtulemi, nutné dbát na dostatečně přesné umístění snímače měřidla vzhledem k natékajícímu proudu. Využití EMI měřidel v případě „šikmého“ proudění je možné, je však třeba vždy správným způsobem provést případnou korekci vykazované rychlosti.
7. V rámci diskuze během průběžné oponentury úkolu bylo konstatováno, že v případě použití EMI měřidel pro úřední měření v případě postupu dle předpisu MP 010, nebude dovoleno měřidla využít při šikmém proudění. V kapitole 4.1 předpisu MP 010 bude dále uvedeno, jakými prostředky bude třeba vybavit měřidla a pomocná měřicí zařízení (soutyčí) pro zajištění indikace polohy snímače vůči směru natékajícího proudu před a během měření.

### **3.2 Vybrané metrologické charakteristiky EMI měřidel**

V následujících odstavcích jsou stručně shrnuty závěry, které vyplývají z prací provedených v rámci tří úkolů plánu rozvoje metrologie během let 2018 až 2020 a jsou prezentovány podrobně v příloze č. 2 této zprávy.

1. Meziuhlá preciznost měřených rychlostí vykazovaných předmětnými měřidly, jež je kvantifikována hodnotou příslušné nejistoty měření, je velmi podobná s výsledky používanými pro vodoměrné vrtule a to i za podmínek, kdy nedochází před jednotlivými měřicími cykly ke kontrole a justování nulové hodnoty vykazované měřené rychlosti. V případě, že bychom takový tzv. zero offset test realizovali, byly by průběžně dosahované výsledky ještě příznivější. Pro praktické výpočty celkové nejistoty ve stanovení průtoku za použití předmětných měřidel je tak možné pro kvantifikaci nejistoty pocházející z reprodukovatelnosti kalibračních konstant využít hodnoty, které odpovídají nejistotám pro individuální kalibraci vodoměrných vrtulí dle ČSN EN ISO 748.
2. Z hlediska pohledu na variabilitu měřených rychlostí, jež je vyjádřena velikostí směrodatné odchylky stanovené z 10 opakovaných měření jedné konkrétní rychlosti, lze konstatovat, že dosahované výsledky jsou v čase prakticky neměnné. Lze očekávat, že pokud nedojde ke ztrátě měřicí schopnosti měřidla, zůstanou v budoucnosti dosahované výsledky variability na shodné z hlediska praktického pohledu velmi nízké úrovni.
3. V oblasti stability nulové hodnoty vykazované rychlosti se ukázalo, že z různých příčin dochází u řady posuzovaných měřidel k samovolným relativně malým změnám ve stabilitě měření nulové hodnoty, které však mají relativně velký dopad na hodnoty replikovatelnosti především při velmi malých rychlostech. Rozptyl hodnot, který byl vždy z 10 opakovaných měření stanoven, je však výrazně menší, než jsou hodnoty deklarované výrobcem.
4. Jednoznačné doporučení plynoucí z provedené analýzy je provádění justace nuly před každým měřením a kalibrací v kalibrační laboratoři a s ponořením do „nehybné“ kapaliny, ve které bude měření prováděno.

5. Prakticky všechna měřidla, se chovají v oblasti nízkých rychlostí shodně, jako vodoměrné vrtule, ty však velmi často neumožňují vzhledem ke své citlivosti provádět korektně měření při rychlostech pod  $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; v tomto případě je přínos EMI-měřidel jednoznačně kladný. Pokud je následně výsledná hodnota nejistoty měření průtoku stanovená za pomoci EMI-měřidla vyhovující definovaným mezím, je možné jej v poměrech velmi nízkých rychlostí využít. Získané hodnoty musí být korigovány ve smyslu platného kalibračního listu.
6. V průběhu experimentálních prací byl sledován i případný vliv tzv. „jiných ovlivňujících událostí“, mezi které patří výměna nebo nabití baterií, míra používání měřidla, apod. Míra nabití baterií, resp. jejich výměna či dobití nemají podle našich zjištění vliv na hodnoty následně měřených parametrů. Rovněž tak míra používání přístroje se nikterak neprojevila na hodnotách sledovaných parametrů.
7. Na základě všech analýz tak doporučujeme měřidla pracující na elektromagnetickém principu jako vhodná pro potřeby subjektů autorizovaných pro úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou. Délka doporučeného recalibračního intervalu je 2 roky. Tato doba je shodná s dobou, jež je uvedena v MP 010 při měření bodových rychlostí proudu za pomoci vodoměrných vrtulí.

### **3.3 Nejistota měření bodové rychlosti proudu při použití EMI měřidel**

Závěry z prací provedených v druhé polovině roku 2020 týkající se stanovení nejistoty měření bodové rychlosti proudu jsou součástí přílohy č. 3 této zprávy. Na tomto místě shrňme zásadní poznatky, ke kterým experimentální práce dospěly.

1. V laboratorních podmínkách s kalibrovanými průtokovými poměry, jež byly současně navázány i na in situ vyskytující se intenzity turbulence proudu, jsme provedli rozsáhlé experimentální práce. Tyto práce byly realizovány se dvěma EMI-měřidly a jednou vodoměrnou vrtulí, která byla vybavena propelerem č. 1.
2. Intenzity turbulence proudu, které byly zaznamenány v minulosti na řadě míst v reálných kanalizačních tratích, se podařilo úspěšně přenést do podmínek hydraulické laboratoře. Nastavení těchto poměrů tak zaručilo, že výsledky, které jsme obdrželi při současných experimentálních pracích, bude možné shodně přenést do metrologického předpisu MP 010.
3. Ukázalo se, že nejistoty měřené bodové rychlosti proudu stanovené vodoměrnou vrtulí jsou v praktické shodě s daty, jež byla získána analýzou výsledků provedených s oběma typy EMI-měřidel. Vzájemné rozdíly nejistot měření mezi jednotlivými měřidly za vyšších rychlostí a středních turbulencí dosahují jen jednotky procent.
4. Z experimentálních zkoušek současně vyplynula i dobrá shoda mezi absolutními rychlostmi stanovenými jednotlivými měřidly, byť u EMI-měřidel nebyla zajištěna příslušná metrologická návaznost provedenou kalibrací v kalibrační laboratoři.
5. Na základě provedených experimentálních zkoušek je možné převzít získané výsledky do metrologického předpisu MP 010. Pro rychlosti  $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a vyšší je doporučitelné hodnoty příslušných nejistot měření pro propeler č. 1 a EMI-měřidla sjednotit

a ponechat tak tabulky 14 až 16 v MP 010 beze změny. V případě nižších rychlostí bude dobré hodnoty nejistot ve smyslu předložených výsledků u EMI-měřidel zvýšit.

6. Současně je možné s ohledem na jednoznačně lepší rozlišitelnost EMI-měřidel připustit dobu měření v jednom měrném bodě pouze 10 s i za cenu nárůstu příslušné nejistoty měření. Tento přístup by však mělo stejně jako u vodoměrných vrtulí provázet zvýšení počtu měrných bodů v měrném profilu.

#### **4. Oponenti úkolu**

Úkol oponují následující oponenti:

- Ing. Petr Sýkora, Ph.D., Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Na rozhraní 1, 180 00 Praha 8 – technický ředitel PVK, a.s.; úřední měřič v daném oboru;
- Ing. Erich Ludwig, Český metrologický institut, Okružní 31, 638 00 Brno – Úsek legální metrologie, Referát pro posuzování způsobilosti.

#### **6. Závěr**

Výsledky dosažené v rámci předloženého úkolu PRM 2020 společně s výsledky získanými z let 2018 a 2019 budou dle jejich povahy zapracovány do metrologického předpisu MP 010 Českého metrologického institutu a stanou se tak závazné pro měřiče provádějící úřední měření v daném oboru.

Zpracováním úkolu dojde z hlediska technického a metrologického k jednoznačnému posouzení možnosti použitelnosti nových typů měřidel bodových rychlostí vodního proudu pracujících na elektromagnetickém principu určených pro úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou.

#### **Přílohy:**

- |              |  |
|--------------|--|
| Příloha č. 1 | Směrová citlivost EMI měřidel                                    |
| Příloha č. 2 | Vybrané metrologické charakteristiky EMI měřidel                 |
| Příloha č. 3 | Nejistota měření bodové rychlosti proudu při použití EMI měřidel |
| Příloha č. 4 | Kopie plánovacího listu  |