

TEMATICKÁ PŘÍLOHA č. 4/2016

Metrologie průtoku a protečeného
množství kapalin a vodní páry v ČR

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ



METROLOGIE PRŮTOKU A PROTEČENÉHO MNOŽSTVÍ KAPALIN A VODNÍ PÁRY V ČESKÉ REPUBLICE

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

Mgr. Jindřich Bílek

Ing. Jaroslav Synáč, CSc.

Český metrologický institut Brno

Ing. Adéla Trávníčková

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Ing. Ivan Mikulecký, CSc.

*Strojnická fakulta, Slovenská technická univerzita,
Bratislava*

Editorial.....2

1. Historie metrologie průtoku2

Ing. Ivan Mikulecký, CSc.

2. Slovník základních pojmů.....4

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

3. Metrologie průtoku a protečeného množství vody v uzavřených potrubích5

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

Ing. Ivan Mikulecký, CSc.

4. Metrologie průtoku a protečeného množství vody v profilech s volnou hladinou18

Ing. Adéla Trávníčková

5. Metrologie průtoku a protečeného množství kapalin jiných než voda.....27

Mgr. Jindřich Bílek

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

6. Metrologie průtoku a protečeného množství vodní páry37

Ing. Jaroslav Synáč, CSc.

Ing. Ivan Mikulecký, CSc.

METROLOGY OF LIQUIDS AND STEAM FLOW IN CZECH REPUBLIC

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

Mgr. Jindřich Bílek

Ing. Jaroslav Synáč, CSc.

Czech Metrology Institute, Brno

Ing. Adéla Trávníčková

T. G. Masaryk Water Research Institute, Praha

Ing. Ivan Mikulecký, CSc.

*Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University
of Technology, Bratislava*

Editorial.....2

1. History of Metrology of Flow.....2

Ing. Ivan Mikulecký, CSc.

2. Vocabulary of Basic Terms4

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

3. Metrology of Water Flow in Closed Conduits.....5

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

Ing. Ivan Mikulecký, CSc.

4. Metrology of Flow in Profiles with Free Water Level18

Ing. Adéla Trávníčková

5. Metrology of Flow of Liquids other than Water27

Mgr. Jindřich Bílek

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

6. Metrology of Steam Flow37

Ing. Jaroslav Synáč, CSc.

Ing. Ivan Mikulecký, CSc.

EDITORIAL

„Všechno je na webu“ říká okřídlený slogan. A nelže ani v případě metrologie průtoku. Pojdte se vsadit, že všechno, co najdete v předkládané příloze časopisu Metrologie, lze najít (minimálně ve formě odkazů) na internetu.

Naším cílem bylo nepřeborné množství materiálu utřídit, kategorizovat a hlavně učinit „poživatelným“ pro čtenáře. Nic více a nic méně než zmapování metrologického zabezpečení průtoku a protečeného množství kapalin a vodní páry v České republice.

A co všechno je na programu dne?

- média – voda v uzavřených potrubích i v profilech s volnou hladinou, kapaliny jiné než voda a také vodní pára a kondenzát;
- etalony – primární a sekundární;
- měřidla – stanovená i jiná;
- metrologická pracoviště – Český metrologický institut a autorizované laboratoře;
- předpisy a další literatura ke studiu.

Metrologie v kostce (<http://www.unmz.cz/files/Sborn%C3%ADky%20TH/MvK-7-DEF.pdf>) uvádí:

Náklady na měření a vážení v dnešní Evropě představují plných 6 % celkového hrubého národního produktu. Metrologie se stala přirozenou součástí našeho každodenního

ho života. Dřevěná prkna i kávu nakupujeme podle velikosti a váhy; měříme odběr vody, elektriny a tepla, a důsledky toho pociťujeme v našich peněženkách.

A dále uvádí příklady důležitosti měření z oboru průtoku – měření množství zemního plynu a měření spotřeby tepla.

O důležitosti měření průtoku surovin a energií, nikdo nepochybuje – jedná se o „průtok“ množství financí. Ale jak praví klasik „peníze nejsou všechno“. A je tomu doopravdy tak, protože měření průtoku kapalin nabývá na významu v souvislosti s ochranou životního prostředí a se zdravotnictvím. Český metrologický institut (mimo jiné) z tohoto důvodu rozšířil rozsah etalonáže průtoků kapalin i do oblasti mikroprůtoků.

Autoři uvítají ohlasy a připomínky k tomuto pokusu o bedekr pro pobyt v zemi Metrologie průtoku (bez pasu a viz).

Brno, říjen 2016

Mirka Benková a Ivan Mikulecký



1. HISTORIE METROLOGIE PRŮTOKU

Historie metrologie průtoku tekutin je směsí vědeckých objevů měřicích principů a vývoje technologií, které umožňují realizaci těchto principů. Historii metrologie zaměřené na formulaci teorií bylo věnováno ve světové literatuře patřičné místo – např. v publikacích [1.1] až [1.4]. Zmapování historie vývoje technologií měřicích přístrojů a konkrétně měřidel průtoku tekutin je však velice skromné. Stručný přehled dávají publikace [1.5] a [1.6].

Zájem na měření průtoku mělo lidstvo už před více než třemi tisíci lety. Šlo hlavně o měření množství vody v otevřených profilech pro zavlažování v zemědělství. Projevovalo se to hlavně ve starém Egyptě. Římské akvadukty a potrubní systémy měly měření průtoku, které je možno považovat za předchůdce dnešních měření se škrticími prvky – clonami.

Rozvoj hydrodynamiky jako vědního oboru začal od 16. století. Projevilo se to na vývoji průtokoměrů využívajících tlakový rozdíl a mechanických rotačních měřidel. Na konci 19. století se měření průtoku tekutin stalo relevantním i pro průmyslové a distribuční účely. V druhé polovině 20. století začal prudký vývoj měřicích přístrojů hlavně pro potřeby měření kapalin, plynů a par v průmyslu a v energetice. Vývoj byl zaměřen také na měřicí principy přímého stanovení protečené hmotnosti technických kapalin.

1.1 Osobnosti

Výčet osobností vědy zabývajících se měřením průtoku zahájíme Hérónem Alexandrijským (c. 10 n. l. – c. 70 n. l.), který zjistil závislost průtoku vody od plochy průřezu zdroje a rychlosti proudění. Archimedes (287 př. n. l. – 212 př. n. l.) se zabýval hydrostatikou a navrhl prvního čerpadla na vodu (šnekové).



Leonardo da Vinci – Studie vody obtékající překážku a dopadající na hladinu; Wikimedia Commons

Leonardo da Vinci

(1452–1519) se zabýval také hydrodynamikou.

V roce 1502 napsal:

... řeka v každé části své délky ve stejném čase dává průtok stejného množství vody, bez ohledu na šířku, hloubku, sklon, drsnost, zakřivení ... řeka stejné hloubky bude mít rychlejší proudění v užší části než v širší ...

Uvědomoval si nepřímo úměrný vztah mezi průřezovou plochou a průměrnou rychlostí tekutiny.

Pozoroval také vytváření vírů ve vodě proudící za útesy, co bylo komerčně využito ve vírových průtokoměrech ve 20. století. Navrhl také anemometr na měření rychlosti větru. **Galileo Galilei** (1564–1642) jako první zdůraznil rozdíl mezi silami vyplývajícími ze setrvačnosti a silami vznikajícími z účinků tření (viskozita).

Evangelista Toricelli (1608–1647), Galileiho žák, prokázal, že výtok přes clonu závisí od druhé odmocniny tlaku.

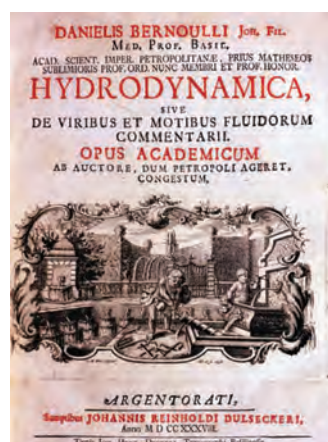
Edme Mariotte (1620–1684) zjistil, že síla vyvinutá proudem tekutiny je úměrná druhé mocnině jeho rychlosti: Na této závislosti, jsou založeny moderní terčíkové průtokoměry.

Isaac Newton (1642–1727) studoval jevy odporu tělesa pohybujícího se napříč proudem. Provedl syntézu Galileiho úvah o setrvačných a viskozitních silách, co vedlo posléze Osborne Reynoldse k vytvoření teorie bezrozměrných čísel. Newton pozoroval hydraulický jev *vena contracta*.

Uvedl, že v proudě vody vytékající z otvoru umístěného na dně nádrže byl bod, v blízkosti stěny nádrže, kde je plocha průřezu proudu minimální (Principia, 1713). V důsledku toho, průtok otvorem stanovený výpočtem byl asi 1,4 krát větší než skutečně měřený v důsledku kontrakce proudu.

Domenico Guglielmini (1655–1710) vytvořil první přístroj na měření průtoku řek. Byl založen na měření polohy a úhlové odchylky plaváku spuštěného z kvadrantového měřidla do proudu vody.

Henry Pitot (1695–1771) vynalezl měřidlo rychlosti proudění vody – Pitotovu trubici – zařízení používající „dvě paralelní tenké trubky upevněné v rámu, jedna rovná a druhá s krátkým zakřivením v pravém úhlu“. Tlakový rozdíl mezi trubkami je úměrný rychlosti proudění.



Daniel Bernoulli – Hydrodynamica; Wikipedia

Daniel Bernoulli

(1700–1782) dospěl k principu zachování součtu kinetické a potenciální energie, uvádějící (Hydrodynamica, 1738):... *musíme nakonec zadefinovat principy, které jsme již tak často zmiňovali. První z nich je, že zachování působících sil, nebo jak jsem již uvedl, rovnost mezi skutečným spádem a potenciálním vzestupem ...*

Leonhard Euler (1702–1783) současník a přítel Bernoulliho, zavedl princip kontinuity v současné podobě, vycházejí z druhého Newtonova pohybového zákona pro neviskózní tekutinu. Prezentoval Bernoulliho rovnici pro ustálené proudění s konstantní hustotou při absenci ztrát, jako vztah, že součet tlakové energie, kinetické energie a potenciální energie je konstantní.

Ján Andrej Segner (1704–1777) byl prvním vědcem, který použil reaktivní sílu vody k sestrojení reaktivní turbíny – Segnerova kola – které je podobné modernímu zahradnímu postřikovači. Jeho princip prostudoval a doplnil L. Euler. K Segnerovým nejvýznamnějším dílům z oboru hydrauliky

patří *Machinae cuiusdam hydraulica theoria* (1750). Princip jeho kola byl využit při návrzích dalších vodních turbin, které se uplatnily při vývoji mechanických rotačních vodoměrů. Byl využit také při vynálezu plavákového průtokoměru [1.7]. Segner v praxi využil trubici s měřením dynamického tlaku na stanovení rychlosti proudění kapaliny [1.8]. Podle J. A. Segnera – rodáka z Bratislavy – byl nazván pavilon Centra průtoku Slovenského metrologického ústavu v Bratislavě v roce 2004.

Jean-Charles de Borda (1733–1799) zavedl pojem elementárních proudových trubec. Ukázal, že kontrakce proudu ovlivňuje průtok malým otvorem (clonou), ale také, že ten druh proudění je doprovázen ztrátou energie.

Reinhard Woltman (1757–1837) vyvinul měřidlo průtoku vody v řece – vícelopátkový rotor. Z jeho vynálezu vznikla celá skupina turbínových měřidel, která nese jeho jméno.

Giovanni Battista Venturi (1746–1822) ve své průkopnické práci v oblasti měření průtoku postuloval, že tekutiny pod tlakem protékající zužující se trubicí získávají rychlost a ztrácejí tlak a pro rozšiřující se trubky platí opačné tvrzení. Název Venturiho trubice zavedl C. Herschel v roce 1887.

Clemens Herschel (1742–1830) realizoval a zkoušel Venturiho trubici v početných pečlivě prováděných experimentech. Zasloužil se o průmyslovou aplikaci Venturiho zařízení.

Michael Faraday (1791–1867) V roce 1832 oznámil ve svých spisech úspěšný pokus k měření průtoku řeky Temže pomocí průkopnického elektromagnetického průtokoměru. Jeho elektrodami byly velké kovové desky, zavěšené z Waterloo Bridge do Temže. Položil tím základ pro elektromagnetické průtokoměry.

Osborne Reynolds (1842–1912) vycházejí z Newtona, definoval bezrozměrné číslo jako poměr mezi setrvačnými a viskózními silami. Kromě toho, považoval tento parametr za důležitý pro laminární, přechodové a turbulentní proudění. Reynolds provedl experiment vizualizace proudění s cílem ukázat změnu proudění z laminárního na turbulentní.

Andreas Rudolf Harlacher (1842–1890) byl řádným profesorem pro inženýrské vědy na německé technice v Praze. V roce 1875 byla zřízena Hydrografická komise pro Království české jako reakce na extrémní povodně z minulých let a v souladu se soudobým trendem zakládání hydrologických služeb (Francie). Komise měla dvě sekce, ombrometrickou vedenou prof. Studničkou a hydrometrickou v jejímž čele od počátku stanul A. R. Harlacher. S Harlacherovým jménem tak byly v následujících letech spojeny významné hydrometrické aktivity v Čechách, založení vodoměrné sítě se systematickým pozorováním vodních stavů a především systematické měření průtoků, konstrukce měrných křivek a následně vyhodnocování průtokových množství. Originální byl vývoj jeho elektrického integrátoru pro měření hydrometrickou vrtulí, kterým doplnil Voltmanovu hydrometrickou vrtulí a jež byla oceněna na Světové výstavě v Paříži 1878 zlatou medailí.

Ludwig Prandtl (1875–1953) je autorem aerodynamického tunelu a zařízení, kterým v něm měřil rychlost proudění (Prandtlůva trubice a manometr).

Theodore von Kármán (1881–1963) žák Ludwiga Prandtl, vycházející z prací Mallocka a Bénarda, zkoumal dynamiku tvorby vírů za pevnou překážkou. Jev se nazývá po něm Kármánova vírová cesta.

1.2 Principy

Koncem 19. století a v první polovině 20. století zároveň s rozvojem mechaniky tekutin započala výroba různých druhů průtokoměrů.

Prvním hromadně vyráběným a používaným distribučním měřidlem byl membránový plynoměr (1830). V oblasti kapalin ho následovalo měřidlo na pohonné hmoty s rotačním pístem. Průtokoměry založené na tlakové diferenci se začaly od roku 1913 ve velké míře používat v průmyslových měřicích a řídicích procesech. Distribuční měřidla na vodu a zemní plyn a měřidla pohonných hmot byly v tomto období založeny na mechanických principech s rotačními prvky.

Výzkumy Theodora von Kármána (žáka Ludwiga Prandtl) týkající se dynamiky vytváření vírů (1912) vedly k návrhu a realizaci prvních vírových průtokoměrů (1954).

Po roce 1930 začal rozvoj i průmyslová výroba (1954) elektromagnetických indukčních průtokoměrů. Oscilační průtokoměry (založené na Coandově jevu) byly zavedeny do výroby po roce 1972. Aplikace ultrazvukové techniky do měření průtoku začala po roce 1959. Na konci sedmdesátých let 20. století začal rozvoj hmotnostních průtokoměrů založených na Coriolisově jevu.

V současnosti je v rozvoji oblast inteligentních měřidel, přičemž legální metrologie klade důraz na jejich metrologické zabezpečení. V roce 2002 se konala mezinárodní konference, pořádaná OIML, o perspektivách vývoje legální metrologie do roku 2020. Příspěvek W. Schulze z PTB Braunschweig na tému Změny ochrany spotřebitele v legální metrologii jako výsledek nových technologií [1.9] byl zaměřen na nevyhnutelné změny v ponímání standardních přístupů legální metrologie. Metrologické zabezpečení musí být adekvátní prudké-

mu rozvoji inteligentních měřidel. Vodoměry nejsou už dávno výjimkou o čemž svědčí např. práce [1.10].

Historii na území České republiky uvádíme v příslušných kapitolách.

Reference

- [1.1] HAENSCH, T. – LESCHIUTTA, S. – WALLARD, A. J. (eds.): Metrology and Fundamental Constants, Vol. 166 of Proceedings of the International School of Physics „Enrico Fermi“, IOS Press, Amsterdam 2007, 680 s.
- [1.2] AUGUSTA, P. – KLÚNA, J.: Tajemství přesnosti. Albatros, Praha 1983, 279 s.
- [1.3] ROBINSON, A.: Jak se měří svět: příběhy z dějin měření. Universum, Praha 2008, 224 s.
- [1.4] HEBRA, A.: The Physics of Metrology: All about Instruments: From Trundle Wheels to Atomic Clocks. Springer, Wien 2010, 383 s.
- [1.5] CASCETTA, F.: Short history of the flowmetering. ISA Transactions 1995, 34, s. 229-243.
- [1.6] BUD, R. – WARNER, D. J. (eds.): Instruments of Science: An Historical Encyclopedia. Garland Publishing, New York 1998, 725 s.
- [1.7] FOREGGER, R.: The rotameter and the waterwheel. Anaesthesist 2001, 50, s. 701–708.
- [1.8] BENKOVÁ, M. – MAKOVNÍK, Š.: História metrologie prietoku. In: Miery a váhy v dejinách ľudskej spoločnosti. MVS SR, Bratislava 2006, s. 147 – 157.
- [1.9] SCHULZ, W.: Change of the consumer protection in legal metrology as a result of new technologies. In: OIML Seminar – What Will Legal Metrology Be In The Year 2020. September 2002, Saint-Jean-de-Luz, France, s. 123-132.
- [1.10] ČERNÍKOVÁ, E.: Smart Metering vodovodu v areálu stavební fakulty VUT v Brně. Diplomová práce, Stavební fakulta VUT v Brně, 2015, 79 s.



2. SLOVNÍK ZÁKLADNÍCH POJMŮ

Čistá voda

je pitná voda, která smí obsahovat jenom pevné částice anebo rozpuštěné přísady, které nenaruší správnou funkci mechanického snímače objemu anebo průtoku vodoměru. Tyto neovlivní ani rozsah průtoku a chybu indikace měřidla ani nezastaví resp. nepoškodí měřidlo.

[Příručka WELMEC 11.1, 5. vydání, leden 2014]

Kalibrace

je činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalonem a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace. [VIM3]

Sekundární etalon

je etalon stanovený kalibrací vzhledem k primárnímu etalonu pro veličinu stejného druhu. [VIM3]

Primární etalon

je etalon stanovený použitím primárního postupu měření nebo vytvořený konvencí zvoleným artefaktem. [VIM3]

Referenční etalon

je etalon navržený ke kalibraci dalších etalonů pro veličiny daného druhu v dané organizaci nebo v dané lokalitě. [VIM3]

Pracovní etalon

je etalon, který je běžně používán ke kalibraci nebo ověřování měřidel nebo měřicích systémů. [VIM3]

Státní etalon

je etalon, který má pro příslušný obor měření nejvyšší metrologickou kvalitu ve státě.

[Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii v platném znění]

Nejistota měření

je nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace [VIM3]

Kombinovaná standardní rozšířená nejistota měření

je nejistota měření, která je součinem kombinované standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření $k = 2$.

Kontrola měřidel

je všeobecný termín používaný pro souhrnné označení zákonem stanovených činností, kterým mohou měřidla podléhat, např. schválení typu, ověřování atd. [VIML]

Schválení typu

je rozhodnutí s právním dosahem založené na zprávě o zkouškách, že daný typ měřidla splňuje příslušné zákonem stanovené požadavky a má za následek vydání certifikátu o schválení typu. [VIML]

Ověřování

je poskytnutí objektivního důkazu, že daná položka splňuje specifikované požadavky.

Poznámka: Ověřování v legální metrologii, definované ve VIML a obecně v posuzování shody, se týká přezkoušení a označení a/ nebo vydání ověřovacích listů pro měřicí systém. [VIM3]

Posouzení shody

je prokázání, že specifikované požadavky týkající se výrobku, postupu, systému, osoby nebo subjektu jsou splněny. [VIML]

Úřední měření

je metrologický výkon, o jehož výsledku vydává autorizovaný subjekt doklad, který má charakter veřejné listiny; náležitosti dokumentu o úředním měření stanoví ministerstvo vyhláškou č. 262/2000 Sb. v platném znění.

[Komentář k zákonu č. 505/1990 Sb. o metrologii v platném znění]

Návaznost měřidel

je zařazení daných měřidel do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro daný účel.

[Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii v platném znění]

Měřicí schopnost kalibrace

V souvislosti s dohodou CIPM MRA a dojednáním ILAC a v souvislosti se společným prohlášením CIPM-ILAC byla dohodnuta tato společná definice:

CMC je kalibrační a měřicí schopnost, která je zákazníkům k dispozici za normálních podmínek:

- jak byla uveřejněna v databázi klíčových porovnání BIPM (KCDB) podle dohody CIPM MRA anebo
- jak je uveřejněna v rozsahu akreditace laboratoře, udílené signatářem dojednání ILAC.

Použité zkratky

CMC – Calibration and Measurement Capability - Měřicí schopnost kalibrace

U – Kombinovaná standardní rozšířená nejistota měření

MPE – Maximální dovolená chyba

VIM3 – JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition, 2008 version with minor corrections – Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)

VIML – OIML V 1:2013 International vocabulary of terms in legal metrology (VIML) – Mezinárodní slovník termínů v legální metrologii (VIML)

AdBlue – Kapalně aditivum, využívané technologií selektivní katalytické redukce, která se užívá při úpravě výfukových plynů vznětových motorů na úroveň emisních limitů Euro IV a vyšších.

CNG – Compressed Natural Gas - stlačený zemní plyn
Stlačený zemní plyn (metan) se používá jako palivo pro pohon motorových vozidel

LPG – Liquefied Petroleum Gas - zkapalněný ropný plyn
Směs uhlovodíkových plynů používaná jako palivo do spalovacích spotřebičů a vozidel (propan-butan)

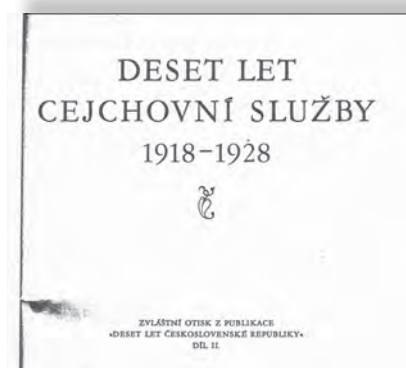


3. METROLOGIE PRŮTOKU A PROTEČENÉHO MNOŽSTVÍ VODY V UZAVŘENÝCH POTRUBÍCH

3.1 Vývoj metrologie průtoku vody v uzavřených potrubích

Cejchování, tedy úřední ověřování vodoměrů, se datuje na území dnešní České republiky od roku 1909 a to podle nařízení č. 209/1909 ř. z. o zkoušení a ověřování vodoměrů cejchovním úřadem. Ověřování v časech Rakousko-Uherska prováděli pracovníci státních cejchovních úřadů.

Po vzniku Československé republiky, v roce 1918 ověřování zabezpečovali pracovníci cejchovních úřadů, spadající pod Československý ústřední inspektorát pro službu cejchovní v Praze. Jak vypadala situace v metrologickém zabezpečení vodoměrů v prvních letech ČSR nám přibližuje publikace Deset let cejchovní služby 1918 – 1928, která uvádí informaci o laboratořích Československého ústředního inspektorátu pro službu cejchovní:



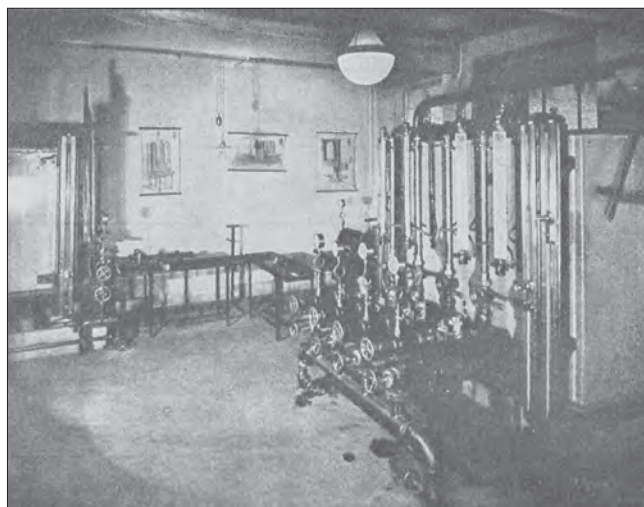
Obr. 3.1: Publikace Deset let cejchovní služby 1918 – 1928, uvádějící informaci o laboratořích Československého ústředního inspektorátu pro službu cejchovní

Teprve v měsíci říjnu 1923 přestěhoval se ústřední inspektorát pro službu cejchovní z provisorních a malých místností v Praze II, 1027 do nové úřední budovy na Smíchově v Botanice č. 4, kde mu dány k dispozici místnosti. Zde je umístěn celý úřad až na účtárnu, která zůstala v klášteře Jesuitů.

Bude tudíž nutno pomýšleti na to, aby pro ústřední úřad měř a vah byla vystavěna zvláštní, speciálně pro práce tam konané upravená a účelně zařízená budova a to na místě chráněném od veškeré rušné frekvence.

O zkušebně vodoměrů uvádí stručný popis:

Zařízení pro systémové zkoušky vodoměrů bylo dodáno firmou Siemens & Halske a postaveny byly dvě úplné stanice, a to jedna pro vodoměry o průměru do 40 mm a druhá pro vodoměry o průměru do 250 mm. K měření ztrát tlakových jsou zde diferenciální manometry s vodou nebo rtutí, k upravení průtočného množství manometry regulační s použitím příslušných kalibrovaných trubíc s usměrňováním vodního proudu. Napájení vodou děje se buď přímo z městského vodovodu, nebo reservoáru umístěného pod střechou budovy. Cejchoven vodoměrných mimo úřad je 15.



Obr. 3.2: Obrázek vodoměrné stanice z publikace Deset let cejchovní služby 1918 – 1928

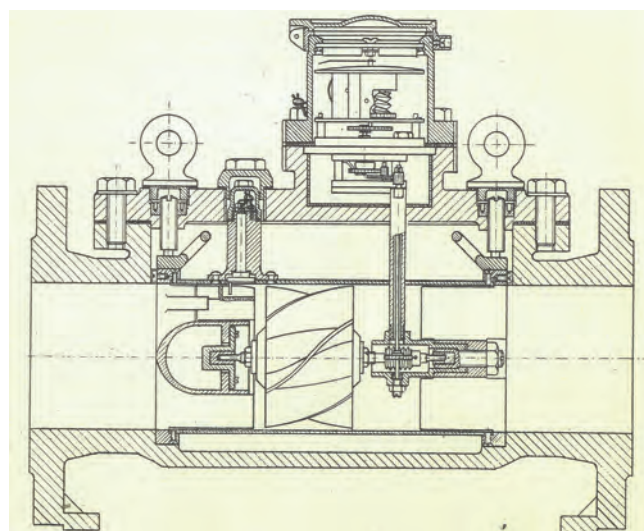
V roce 1934 byla stávající rakousko-uherská legislativa vodoměrů nahrazena vládním nařízením č. 107/1934 Sb. z. a n. o úředním cejchování vodoměrů. Nařízení obsahuje technické a metrologické požadavky a také podrobnou instrukci na zkoušení vodoměrů. Zohledňovalo tehdejší stav techniky a k ověřování připouštěla vodoměry rychlostní nebo objemové:

- a) lopátkové vodoměry s otáčivým pohybem lopátkového kola;
- b) kotoučové vodoměry s pohybem kotouče vedeného pevnou stěnou po kuželových plochách;
- c) kroužkové vodoměry s oběžným pohybem kroužku vedeného pevnou stěnou;
- d) pístové vodoměry s vratným pohybem jednoho nebo více pístů v měřicím válci;
- e) turbínové vodoměry s otáčivým pohybem turbínového kola;
- f) šroubové vodoměry s otáčivým pohybem šroubového křídla;

- g) bubnové vodoměry s plněním měřicích komor otáčivého bubnu;
- h) sdružené vodoměry složené z vodoměrů uvedených v a) až g).



Obr. 3.3: Vládní nařízení č. 107/1934 Sb. z. a n. o úředním cejchování vodoměrů



Obr. 3.4: Vodoměr typu "Michera 3" s vyjímatelným měřicím ústrojím, schválený podle vládního nařízení č. 107/1934

Na zkoušení vodoměrů se v letech první ČSR i po 2. světové válce až do roku 1976 používaly etalonová objemová zařízení. Až do začátku 60. let 20. století byla metrologie průtoku vody orientovaná výhradně na rutinní ověřování.

Za počátek výzkumu a vývoje v oblasti etalonáže vodoměrů v Československu je možné považovat publikaci prof. Skákaly [3.2]. O plánech v oblasti vědeckého výzkumu metrologie průtoku píše v roce 1968 dr. Šindelář [3.3]:

V nové budově ústavu bude zřízena velká průtokoměrná laboratoř. V současné době se větší průtoky měří ve spolupráci s průmyslem, u výrobců nebo uživatelů.

Po založení Československého metrologického ústavu v r. 1968 v Bratislavě bylo vyvinuto nové primární gravimetrické zařízení (v roce 1976). Toto zařízení bylo vyhlášeno státním etalonem průtoku a protečeného množství vody v roce 1983 [3.4]. Touto metodou se řádově zvýšila přesnost měření protečeného množství studené a teplé vody v srovnání s objemovou metodou. Etalon byl konstruován s měřicím rozsahem (2 až 90) m³/h s teplotou v rozsahu (15 až 90) °C. Tento státní etalon byl používán v letech 1983-1992. Slovenský metrologický ústav v Bratislavě ho používal do roku 1997, kdy byl v novém areálu SMÚ realizován nový gravimetrický etalon, který je provozován dodnes.



Obr. 3.5: Obrázek z publikace 20 rokov Československého metrologického ústavu – Československý státní etalon průtoku a protečeného množství vody



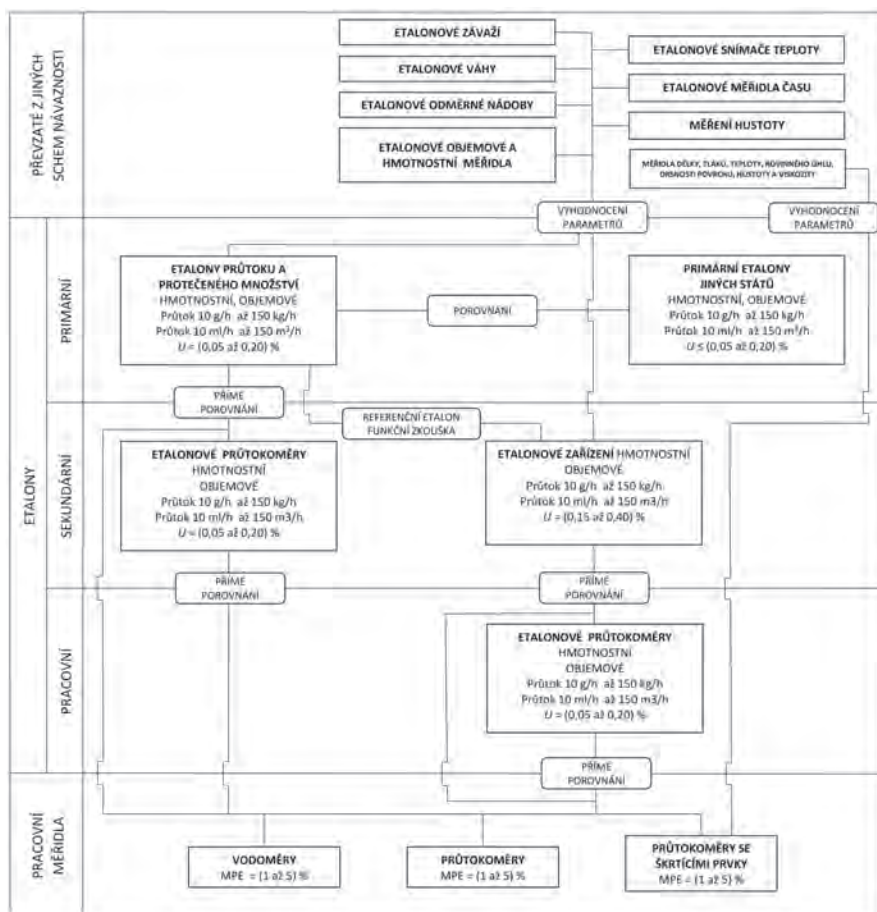
Obr. 3.6: Článek o československém státním etalonu průtoku a protečeného množství vody v časopise Československá standardizace č. 12, 1983

3.2 Metrologická návaznost

Schéματα návaznosti uváděné v této příloze k časopisu Metrologie byly vytvořeny podle Metodických pokynů pro metrologii MPM 1 – 96 Schéma návaznosti měřidel. Zásady tvorby. Představují aktuální zmapování možných způsobů navazování měřidel a etalonů, při dodržení hodnot největších dovolených chyb pracovních měřidel (MPE). Zároveň jsou uvedeny rozšířené kombinované nejistoty pro jednotlivé etalony (U).

3.3 Primární etalony

V současné době návaznost měřidel průtoku vody a kapalin v rozsahu 10 ml/h až 150 m³/h zabezpečují tři primární gravimetrické etalony s názvy Enbra, Sensus a Justur, které jsou využívány především ke kalibraci měřidel a etalonů. Etalonová zařízení zároveň slouží na základě požadavek zákazníků ke kalibraci a zkouškám pro schvalování typů a posouzení shody podle směrnice 2014/32/EU (Nařízení vlády č. 120/2016 Sb.) měřidel průtoku vody a kapalin. Z pohledu měřicích principů jsou stanice univerzální a umožňují zkoušky vodoměrů a průtokoměrů pracujících na objemovém, rychlostním, elektromagnetickém, ultrazvukovém, vírovém nebo hmotnostním principu, případně měřidel využívajících tlakovou ztrátu (škrtící orgány) nebo dynamické působení tekutiny (průtokoměry s proměnlivým průřezem, vírové průtokoměry, fluidikové průtokoměry). Etalon mini a mikroprůtoku kapalin JUSTUR je určený na kalibraci průtokoměrů, které se používají v různých aplikacích v petrochemickém, potravinářském nebo farmaceutickém průmyslu, kalibrátorů infuzních dávkovačů a pump případně průtokoměrů určených na kontinuální mikrodávkování, například léčiv v zdravotnictví. Dále toto etalonové zařízení slouží na kalibraci sekundárních hmotnostních etalonů, které je možné dále využít na kalibraci průtoku vody, resp. kapalin jiných než voda s možností provést kalibraci mimo stabilní laboratoře.



Obr. 3.7: Schéma návaznosti měřidel průtoku a protečeného množství vody

3.3.1 Etalon průtoku a proteklého množství vody ENBRA

Základní rozsah

Měřicí rozsah:	(0,050 až 150) m ³ /h
Jmenovitá světlost zkoušených měřidel:	DN 25 až DN 32
Pracovní tlak:	(0,3 – 16) bar
Zkušební kapalina:	Studená pitná voda
Teplota vody:	(15 až 25) °C
Metoda měření:	Gravimetrická s etalonovými váhami s váživostí 3000 kg a 300 kg
Kombinovaná rozšířená nejistota měření (k=2)	0,1 %

Popis

Etalonové zařízení ENBRA typu MR-S 25150 bylo v roce 2004 vybudováno ve spolupráci s firmou ENBRA Brno a je určeno k realizaci jednotky protečeného množství a průtoku vody v rozsahu (0,05 až 150) m³/h s teplotou (20 ± 5) °C. Jedná se o jednu měřicí trať se samostatným hydraulickým okruhem, jehož součástí je sběrná nádrž o objemu 9 m³, s upínací soupravou pro pneumatické upínání průtokoměrů DN 25 až DN 150, 3 větvemi pro pracovní etalony určené převážně pro nastavení průtoku (**obr. č. 3.8, 3.9 a 3.10**), s dvojcestnou přepínací klapkou a přepadem pro určení bodu rozhraní. Hlavními etalony jsou elektronické váhy METTLER typu KC 3000 a KCC 300. Sekundární (pracovní) etalony jsou indukční průtokoměry KROHNE DN 6, DN 25, DN 80. Zařízení je dále vybaveno měřením tlaku a teploty na vstupu a výstupu měřicí trati a měřením teploty ve sběrné nádrži. Hustota je stanovována dle rovnic teplotní závislosti destilované vody v závislosti na aktuálně změřené teplotě s korekcí laboratorního stanovení hustoty používané vody při teplotě 20 °C. Regulace průtoku se provádí pomocí řízení otáček čerpadla frekvenčním měničem v kombinaci se škrcením na výstupu měřicí trati. Celé zařízení je plně automatické a ovládané z PC.



Obr. 3.8: Etalon Enbra – vázicí systém a přepínací klapka



Obr. 3.9: Etalon Enbra – měřicí větve se sekundárními (pracovními) etalony



Obr. 3.10: Etalon Enbra – měřicí úsek a upínání měřidel

Metoda měření – primární	Etalon	Popis
Hmotnostní	Váha 300 kg	Pevný start s čtením displeje nebo přímým načítáním impulsů
	Váha 3000 kg	Letmý start s přímým načítáním impulsů, synchronizací impulsů nebo použití proudového výstupu

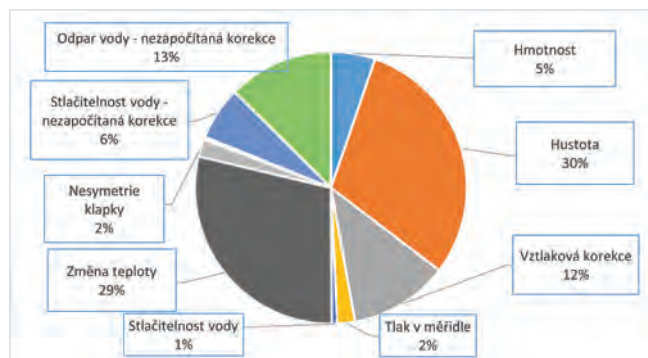
Vyjádření nejistot měření

Tabulka platí pro rozsah světlostí DN15 – DN150, teploty (10 až 30) °C a tlaku 0,25 MPa..

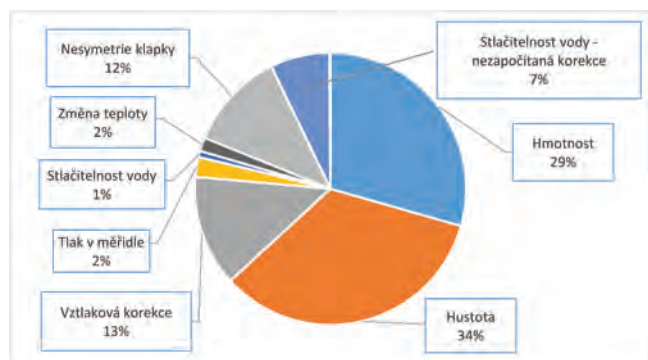
Měřená veličina	Rozsah měření	Měřicí schopnost kalibrace (pro k = 2)	Identifikace interní metody ČMI
Hmotnostní průtok Protečená hmotnost	(0,05 až 150) t/h	0,10 %	615-MP-C142
Objemový průtok Protečený objem	(0,05 až 150) m ³ /h	0,10 %	615-MP-C142

V následujících grafech jsou uvedeny příklady vyhodnocení nejistot pro některé typické měřené protečené množství a průtoky.

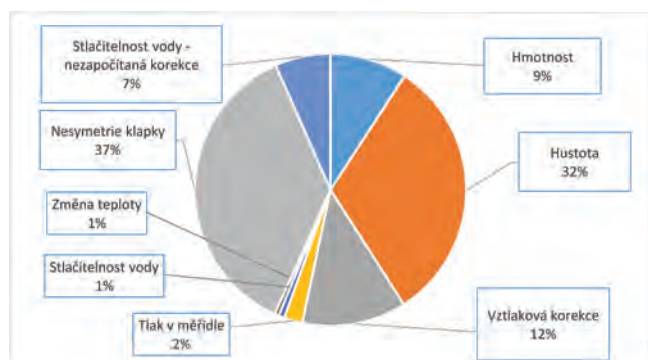
METROLOGIE PRŮTOKU A PROTEČENÉHO MNOŽSTVÍ KAPALIN A VODNÍ PÁRY V ČR



Obr. 3.11: Balance nejistoty měření s použitím etalonové váhy 300 kg, hmotnost 50 kg, průtok 0,15 m³/h, 25°C



Obr. 3.12: Balance nejistoty měření s použitím etalonové váhy 3000 kg, hmotnost 1000 kg, průtok 15 m³/h, 25°C



Obr. 3.13: Balance nejistoty měření s použitím etalonové váhy 3000 kg, hmotnost 1000 kg, průtok 150 m³/h, 25°C

3.3.2 Etalon průtoku a proteklého množství Sensus

Základní rozsah

Měřicí rozsah:	(0,002 až 10) m³/h
Jmenovitá světlost zkoušených měřidel:	DN 6 až DN 32
Pracovní tlak:	(0,03 – 1,6) MPa
Zkušební kapalina:	Studená pitná voda, teplá a horká voda

Teplota vody:	(10 až 95) °C
Metoda měření:	Gravimetrická s etalonovými váhami s váživostí 300 kg, 32 kg a 3 kg s pevným a letným startem
Kombinovaná nejistota měření (k=2)	(0,05 až 0,25) %

Popis

Etalonové zařízení (obr. č. 3.14) je s jednou měřicí tratí a je vybaveno dvěma zásobními nádržemi s regulací teploty vody pomocí vyhřívání a chlazení, zvlášť pro studenou a teplou vodu o objemu 400 L vody. Stanice je vybavena hlavními etalony - elektronické váhy METTLER TOLEDO s váživostmi 300 kg, 32 kg a 3 kg. Sekundárními (pracovními) etalony jsou indukční průtokoměry KROHNE OPTIFLUX DN 2,5, DN 6 a DN 25 s elektronikou IFC300, které jsou používány hlavně pro nastavení průtoků. Každá z vah je vybavena systémem automatické kalibrace a sadou leštěných nerezových kalibračních závaží. Možnost zatížení a odlehčení všemi závažími současně je instalováno pro potřeby stanovení opakovatelnosti a pro další možnost realizace dynamického vážení. Teplota vody se měří na vstupu a výstupu měřicí tratě, v blízkosti pracovních etalonů a v zásobních nádržích odporovými snímači teploty. Teploměry na vstupu a výstupu měřicí tratě jsou instalovány se stonky v ose potrubí upínacího prostoru, aby nedocházelo k rušení profilu proudění. Monitoruje se okolní teplota, vlhkost vzduchu a atmosférický tlak v blízkosti vážících snímačů a ve sběrných nádržích měřicím přístrojem. Tlak ve zkoušeném měřidle se plynule nastavuje podle potřeby v rozsahu (0,3 až 16) bar. Řízení je plně automatické, vizualizace ovládání je z PC. Instalovaný software umožňuje zadávání potřebných korekcí a ukládání všech dat.

Etalonové zařízení Sensus je připraveno i pro měření dvoufázového průtoku (směs voda – vzduch). Z tohoto důvodu jsou na vstupu měřicí tratě instalovány 3 hmotnostní průtokoměry a přívod stlačeného vzduchu.



Obr. 3.14: Etalon Sensus – celkový pohled

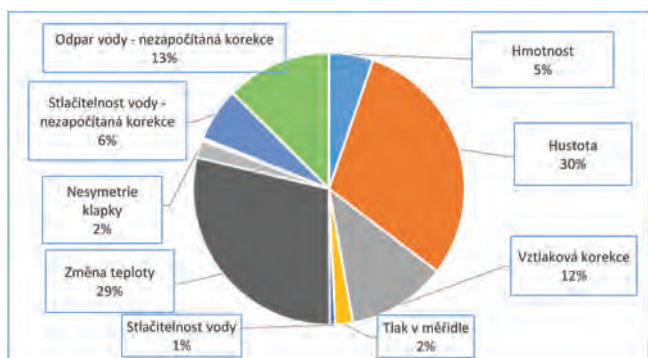
Metoda měření	Etalon	Popis
Hmotnostní	Váha 3 kg	Pevný start s čtením displeje nebo přímým načítáním impulsů
	Váha 32 kg	Letmý start s přímým načítáním impulsů, synchronizací impulsů nebo použití proudového výstupu
	Váha 300 kg	

Vyjádření nejistot měření

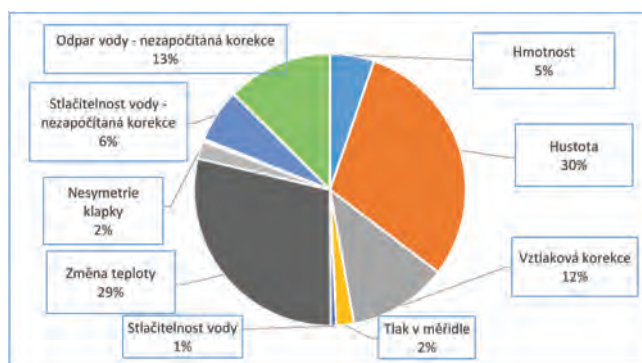
Tabulka platí pro rozsah světlostí DN6 – DN32, teploty (10 až 50) °C a tlaku (0,03 až 1,6) MPa.

Měřená veličina	Rozsah měření	Měřicí schopnost kalibrace (pro k = 2)	Identifikace metody Poznámky
Hmotnostní průtok Protečená hmotnost	(0,002 až 0,005) t/h	0,20 %	615-MP-C142
	(0,005 až 0,012) t/h	0,15 %	
	(0,012 až 0,025) t/h	0,08 %	
	(0,025 až 10,0) t/h	0,05 %	
Objemový průtok Protečený objem	(0,002 až 0,005) m³/h	0,25 %	615-MP-C142
	(0,005 až 0,012) m³/h	0,16 %	
	(0,012 až 0,025) m³/h	0,09 %	
	(0,025 až 0,050) m³/h	0,07 %	
	(0,050 až 10,0) m³/h	0,05 %	

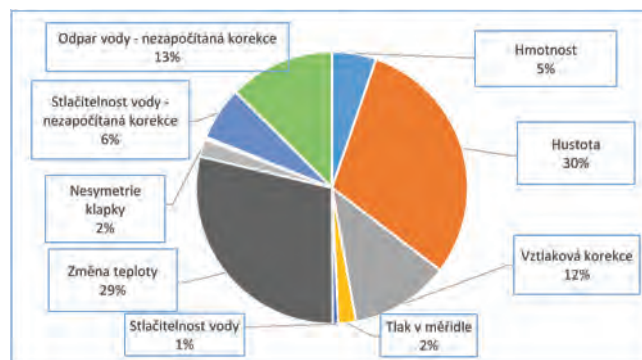
V následujících grafech jsou uvedeny příklady vyhodnocení nejistot pro některé typické měřené protečené množství a průtoky.



Obr. 3.15: Balance nejistoty měření při použití etalonové váhy 3 kg, hmotnost 2,5 kg, průtok 0,005 m³/h



Obr. 3.16: Balance nejistoty měření při použití etalonové váhy 32 kg, hmotnost 28 kg, průtok 1 m³/h



Obr. 3.17: Balance nejistoty měření při použití etalonové váhy 300 kg, hmotnost 280 kg, průtok 10 m³/h

3.3.3 Etalon mini a mikroprůtoků kapalin JUSTUR

Etalon je určený na kalibraci průtokoměrů, které se používají v různých aplikacích v petrochemickém, potravinářském nebo farmaceutickém průmyslu, případně průtokoměrů určených na kontinuální mikrodávkování léčiv v zdravotnictví.

Základní rozsah

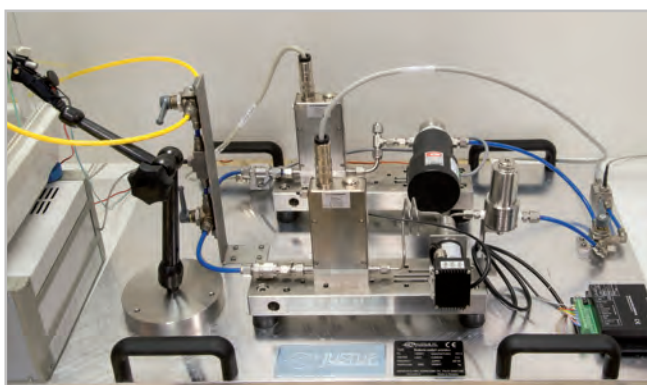
Měřicí rozsah:	(10 až 6 000) ml/h
Připojení zkoušených měřidel	1/4" až 1/16"
Pracovní tlak:	(140 – 340) Pa
Zkušební kapalina:	Destilovaná voda
Teplota vody:	(20 až 25) °C
Metoda měření:	Gravimetrická s etalonovou váhou a váživostí 200 g/60 g pevným startem
Kombinovaná nejistota měření (k=2)	(0,14 až 0,50) %

Popis

Zdrojem průtoku jsou dvě mikro čerpadla s rozsahem (10 až 600) g/h a (500 až 6 000) g/h, které přečerpávají

kapalinu z 10 L zásobní nádrže do měřících větví. Rozsah je možné regulovat na základě instalovaných hmotnostních průtokoměrů, které pracují na Coriolisovém principu v prolínajícím se rozsahu průtoku (10 až 600) g/h a (500 až 6 000) g/h a zároveň plní funkci sekundárních etalonů. Hlavním etalonem je váha s váživostí 200 g/60 g s rozlišením 0,1 g/0,01 g. Měřicí větve jsou vybaveny možností pro upevnění zkoušeného měřidla, resp. měřidel. Etalon je doplněn etalonovými teploměry Pt100 a tlakoměry. Ovládání etalonu je zabezpečeno pomocí PC se speciálním softwarem. Za účelem minimalizace vlivu podmínek prostředí je etalon umístěn v klimatizované laboratoři s možností regulace teploty na 2 °C.

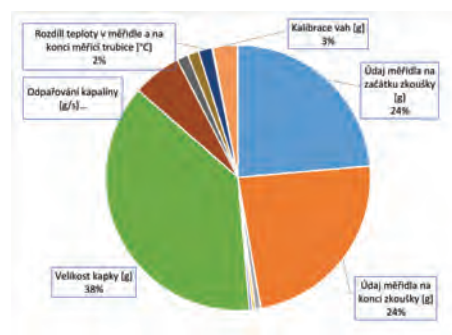
Kalibrace se provádí přímým porovnáním protečené hmotnosti měřidlem s hmotností na vahách, respektive s hmotností protečenou hmotnostními etalony. Voda se načerpává ze zásobní nádrže přes filtr a měřidlo nebo přes hmotnostní etalony do vážící nádoby na vahách a zpět do zásobní nádoby. Průtok je regulován pomocí kontrolních ventilů umístěných za etalony. Správná hodnota průtoku se nastavuje pomocí hmotnostních etalonů umístěných v regulačních větvích. Spouštění a zastavování zkoušky se provádí přes ovládací software podle přednastaveného programu.



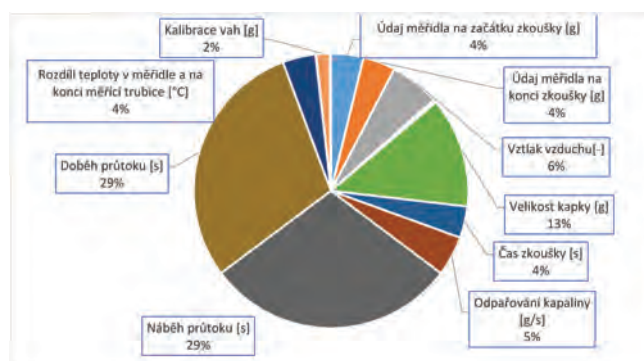
Obr. 3.18: Pohled na sestavu etalonu mini a mikroprůtoku kapalin

Metoda měření	Etalon	Popis
Hmotnostní	Váha 200 g/60g	Pevný start s čtením displeje nebo přímým načítáním impulsů Letmý start s přímým načítáním impulsů

Měřená veličina	Rozsah průtoku	Měřicí schopnost kalibrace (pro k = 2)	Identifikace interní metody ČMI
Protečená hmotnost (20 až 25) °C	(10 až 30) g/h (30 až 2000) g/h (2000 až 6000) g/h	0,50 % 0,14 % 0,20 %	615-MP-C158
Protečený objem (20 až 25) °C	(10 až 30) ml/h (30 až 2000) ml/h (2000 až 6000) ml/h	0,50 % 0,14 % 0,20 %	615-MP-C158



Obr. 3.19: Balance nejistoty měření při použití etalonové váhy 60g, hmotnost 5 g, průtok 10 g/h



Obr. 3.20: Balance nejistoty měření při použití etalonové váhy 200g, hmotnost 80 g, průtok 1500 g/h

3.4 Sekundární etalony

3.4.1 Etalon mini a mikroprůtoku kapalin JUSTUR

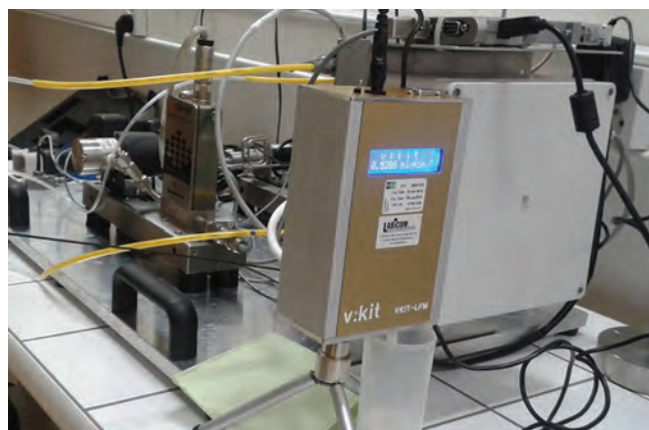
Pro efektivnější měření je možné použít hmotnostní nebo objemovou metodu s hmotnostními průtokoměry. Kalibraci je možné provést mimo stabilní laboratoře a kapalinou jinou než destilovaná voda. Kalibrace se provádí přímým porovnáním protečené hmotnosti měřidlem s hmotností protečenou sekundárními etalony, přičemž jsou uvažovány relevantní korekce a korekční součinitele. Kalibrace je také možné provést přímým porovnáním průtoku indikovaném na měřidle a průtoku sekundárního etalonu. Referenční etalony umožňují přímo snímání dat, spouštění a zastavování zkoušky se provádí přes ovládací software podle přednastaveného programu.

Základní rozsah:

Měřicí rozsah:	(10 až 6 000) ml/h
Připojení zkoušených měřidel:	1/4" až 1/16"
Pracovní tlak:	(140 – 340) Pa
Zkušební kapalina:	Destilovaná voda
Teplota vody:	(20 až 25) °C
Metoda měření:	Hmotnostní nebo objemová s hmotnostními průtokoměry pevným startem
Kombinovaná nejistota měření (k=2)	(0,15 až 0,50) %

Nejistoty měření

Měřená veličina	Rozsah průtoku	Měřicí schopnost kalibrace (pro k = 2)	Identifikace interní metody ČMI
Hmotnostní průtok (20 až 25) °C	(10 až 30) g/h	0,50 %	615-MP-C158
	(30 až 2000) g/h	0,15 %	
	(2000 až 6000) g/h	0,20 %	
Objemový průtok (20 až 25) °C	(10 až 30) ml/h	0,60 %	615-MP-C158
	(30 až 2000) ml/h	0,20 %	
	(2000 až 6000) ml/h	0,25 %	



Obr. 3.21: Zapojení měřidla v sestavě etalonu mini a mikroprůtoku kapalin

3.4.2 Přenosné etalony

Sekundární etalony průtoku kapalin jsou tvořeny sadou hmotnostních průtokoměrů v rozsahu průtoku (0,005 až 40) m³/h a sadou elektromagnetických průtokoměrů v rozsahu průtoku (5 až 150) m³/h. Využívají se na funkční zkoušky sekundárních a pracovních etalonů v místě instalace. Tato metoda zaručuje kontrolu těch částí zařízení, které nepodléhají kalibraci, ale mají zásadní vliv na výsledek měření. Funkční zkoušku je možné provést podle typu prověřovaného etalonového zařízení hmotnostní nebo objemovou metodou

pevným startem nebo letným startem v potřebném rozsahu průtoku (**obr. 3.22**).



Obr. 3.22: Příklad zapojení hmotnostních průtokoměrů ČMI při funkční zkoušce (Obrázek uveřejněný s laskavým svolením firmy Justur, Stará Turá)

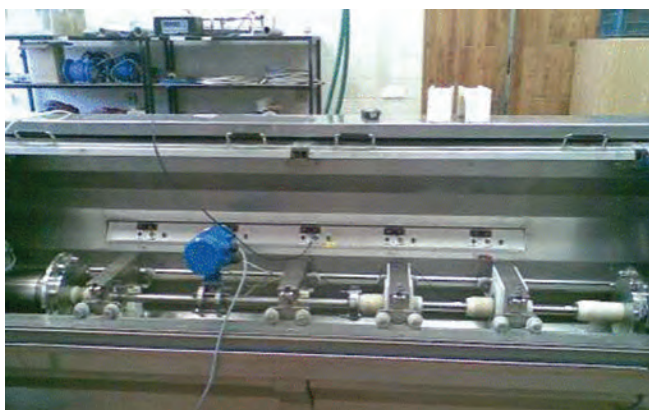
3.5 Mezinárodní a vnitrostátní porovnání etalonů

ČMI je za Českou republiku signatářem mezinárodního Ujednání CIPM MRA o vzájemném uznávání státních etalonů, kalibračních listů a výsledků měření vydaných národními metrologickými instituty. Vzájemné uznání certifikátů v rámci Ujednání CIPM MRA je založeno na důvěře, podložené kladnými výsledky mezinárodních porovnávacích měření, kterých se ČMI pravidelně i v oblasti průtoku vody zúčastňuje. Všechna porovnání se provádí za účelem potvrzení měřicí schopnosti kalibrace.

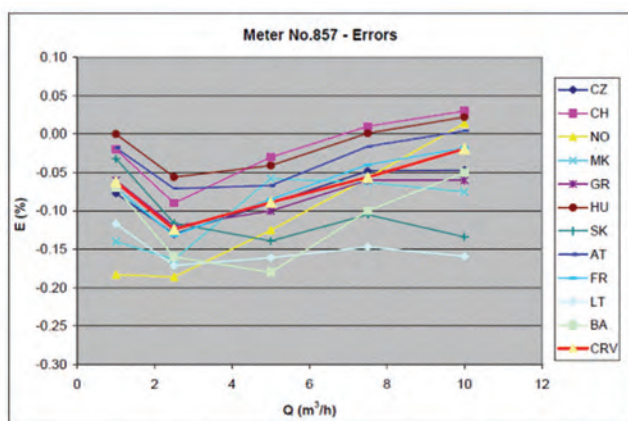
	Potvrzený rozsah	Rozšířená nejistota (k = 2)	Mezinárodní porovnání
Hmotnostní a objemový průtok vody			
Zkušební stanice ENBRA	(0,05 až 150) m³/h	0,10 %	EURAMET 1046
Zkušební stanice Sensus	(0,005 až 10) m³/h	(0,05 až 0,10) %	EURAMET 1161
Etalon mini a mikroprůtoku kapalin JUSTUR	(10 až 6000) ml/h	(0,15 až 0,30) %	EURAMET probíhá

EURAMET 1046

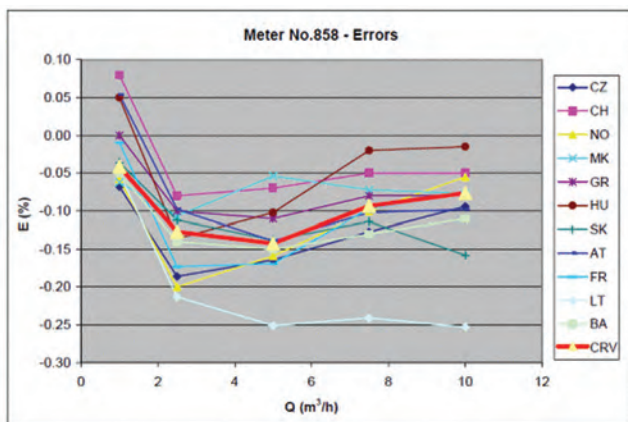
Doplňkové mezilaboratorní porovnání EURAMET v rozsahu od 1 m³/h do 10 m³/h bylo organizováno v letech 2008 až 2010. Zúčastněnými laboratořemi byly Rakousko (BEV), Bosna a Hercegovina (IMBH), Česká republika (CMI - pilotní laboratoř), Francie (CETIAT), Řecko (EIM), Maďarsko (MKEH), v Lotyšsku (LNMC), Litva (VMT/LEI), Makedonie (BOM), Norsko (Justervesenet), Slovensko (SMU) a Švýcarsko (METAS). Na porovnání byly použity dva etalonové průtokoměry Krohne DN 25. Zapojení jednoho z průtokoměrů a výsledky z laboratoří jsou uvedeny na následujících obrázcích a grafech.



Obr. 3.23: Instalovaný elektromagnetický průtokoměr na zkušebním zařízení Enbra



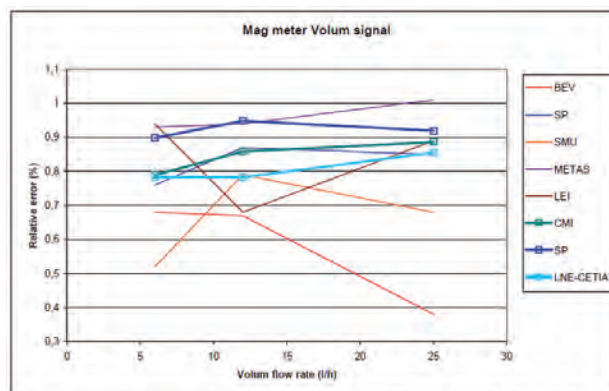
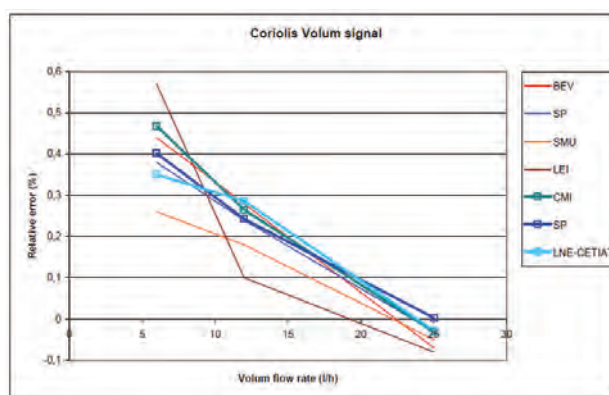
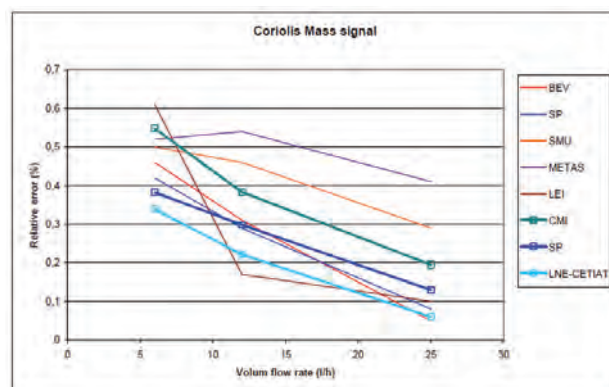
Obr. 3.24: Kalibrační křivky průtokoměru č. 1



Obr. 3.25: Kalibrační křivky průtokoměru č. 2

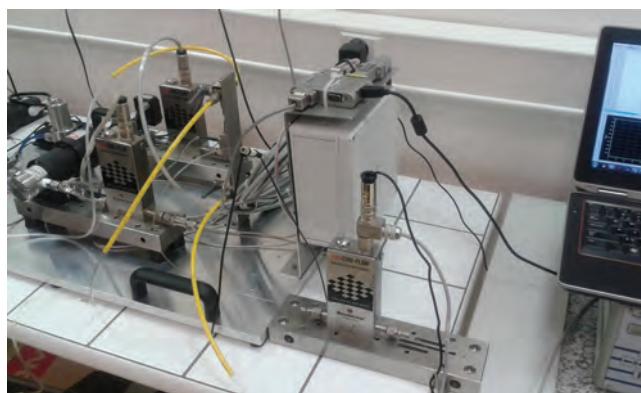
EURAMET 1161

Mezinárodní porovnání EURAMET 1161, kterého se zúčastnili laboratoře národních institutů Švédska (SP), České republiky (ČMI) a Francie (LNE-CETIAT), navazovalo na předcházející porovnání ve stejném rozsahu č. E877, kterého se zúčastnili laboratoře Rakouska (BEV), Litvy (LEI), Švýcarska (METAS), Slovenska (SMU) a Švédska (SP). Byla použita dvě porovnávací měřidla – Coriolisův hmotnostní průtokoměr a indukční průtokoměr v rozsahu průtoků (6 – 25) l/h a teploty 50 °C. Závěrečné výsledky z obou porovnání jsou uvedeny na následujících grafech.



Obr. 3.26: Výsledky porovnání v průběhu projektů E877 a E1161

EURAMET 1379



Obr. 3.27: Zapojení Coriolisového hmotnostního mikropřítokoměru při porovnání

Mezinárodní porovnání EURAMET 1379 bylo organizováno za účelem zjištění mezinárodní porovnatelnosti etalonů pro průtoky v rozmezí od (0,5 do 10) kg/h. Jako porovnávací etalon byl použit Coriolisův hmotnostní mikropřtokoměr Bronkhorst High-Tech. Porovnání bude navázáno na předcházející porovnání EURAMET 1291. Zúčastněnými laboratořemi jsou národní instituty Holandska (VSL), Dánska (DTI), České republiky (ČMI) a Francie (CETIAT).

3.6 Měřidla protečeného množství vody – vodoměry, podléhající metrologické kontrole a kalibraci

3.6.1 Ověřování a kalibrace

Stanovenými měřidly jsou měřidla, která Ministerstvo průmyslu a obchodu stanovilo k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam v závazkových vztazích, pro stanovení sankcí, poplatků, tarifů a daní, pro ochranu zdraví, pro ochranu životního prostředí, pro bezpečnost při práci, nebo při ochraně jiných veřejných zájmů. Seznam druhů měřidel, která jsou podle tohoto zákona stanovenými a některá ustanovení s tím související je uveden ve vyhlášce č. 345/2002 Sb. v platném znění. Položky přílohy k vyhlášce č. 345/2002 Sb. ve vztahu k vodoměrům a k průtokoměrným částem měřičů tepla jsou uvedeny v tabulkách v části 3.7.

Pracovní měřidla jsou měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem. Před uvedením pracovních měřidel nebo etalonů do oběhu má jejich výrobce a po provedení opravy těchto měřidel opravce povinnost zajistit jejich prvotní kalibraci.

3.6.2 Uvádění měřidel na trh

Schválení typu

Vyhláška č. 345/2002 Sb. v platném znění stanovuje druhy měřidel, která podléhají povinnosti schvalování jejich typu před zahájením výroby.

Schvalování typů měřidel vyrobených v tuzemsku provádí podle zákona o metrologii ČMI. Při tomto procesu ČMI zjišťuje, zda měřidlo bude schopno plnit funkci pro kterou je určeno. Tento požadavek se považuje za splněný, pokud je měřidlo v souladu s požadavkem stanoveným opatřením obecné povahy. Týká se vodoměrů na jinou jako čistou vodu. Některé detaily postupu schvalování typu jsou stanoveny vyhláškou č. 262/2000 Sb. v platném znění.

Nově dovážené typy stanovených měřidel taktéž podléhají povinnému schvalování typu, přičemž se obdobně uplatní výše uvedené principy a požadavky. Žádost o schválení typu dovezeného měřidla podává k ČMI ten, kdo uskutečňuje dovoz, pokud již nebyl typ schválen na žádost zahraničního výrobce.

V případě, kdy EU vydala příslušnou směrnici tzv. starého přístupu, bylo možné na základě dobrovolné volby žadatele místo schvalování typu podle zákona o metrologii provést EHS schválení typu, jež mělo automaticky platnost v kterémkoli členském státě EU (tento postup se však nemohl uplatnit u těch druhů měřidel, kde taková směrnice nebyla vydána). Směrnice starého přístupu byly převzaty do české legislativy jako specifické vyhlášky ministerstva k tomuto zákonu. Jsou uvedeny v části 3.7.

V případě, kdy EU vydala příslušnou směrnici tzv. nového přístupu, je schvalování typu nahrazeno procesem posuzování shody s touto směrnicí. V případě vodoměrů na studenou čistou vodu a teplou vodu a měřičů tepla na vodu je touto směrnicí směrnice evropského parlamentu a Rady 2014/32/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání měřidel na trh, která byla transponována nařízením vlády č. 120/2016 Sb. o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh. Nařízení vlády se vztahuje na vodoměry určené pro měření protečeného množství čisté studené nebo teplé vody při použití v oblasti bydlení, obchodu a lehkého průmyslu.

Zákon o metrologii k tomu uvádí, že jeho ustanovení týkající se schválení typu se nepoužijí, pokud zvláštní právní předpis stanoví jinak. Tímto předpisem je zákon č. 90/2016 Sb. o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh.

Ověření

Ověřením stanoveného měřidla se potvrzuje, že stanovené měřidlo má požadované metrologické vlastnosti. Tento požadavek se považuje za splněný, pokud je měřidlo v souladu s požadavkem stanoveným opatřením obecné povahy.

Ověřovat stanovená měřidla jsou oprávněni ČMI a v rozsahu své autorizace (specifikovaném v rozhodnutí ÚNMZ o autorizaci) autorizovaná metrologická střediska (AMS).

3.6.3 Klasifikace měřících metod měřidel

Mezinárodně není dohodnutá jednotná klasifikace měřidel průtoku vody.

Uvádíme několik významných autorů přehledových publikací [3.5], [3.6] a [3.7].

Uvedeme klasifikaci související s posuzováním shody a se schvalováním typu a ověřováním.

Databáze schválených typů měřidel je na stránce <http://app.cmi.cz/typover/>

Podle principu činnosti se **měřidla protečeného množství vody – vodoměry** člení na:

- mechanická měřidla s mechanickými počítadly** – založené na přímém mechanickém působení za použití odměrných komor s pohyblivými stěnami anebo za působení rychlosti proudění vody na rychlost otáčení pohyblivé části (turbíny nebo oběžného kola), s počítadlem, které pracuje na mechanickém principu prostřednictvím otáčejících se ozubených kol anebo jiných otáčejících se komponent,
- mechanická měřidla s elektronickými počítadly** – založené na přímém mechanickém působení za použití odměrných komor s pohyblivými stěnami anebo za působení rychlosti proudění vody na rychlost otáčení pohyblivé části (turbíny nebo oběžného kola), s počítadlem, které pracuje na elektronickém zaznamenávání protečeného množství,
- elektromagnetická měřidla** – založené na elektromagnetickém principu využívajícím Faradayův zákon o elektromagnetické indukci s počítadlem, které pracuje na elektromechanickém anebo elektronickém principu zaznamenávání protečeného množství,

- d) **ultrazvuková měřidla** – založené na ultrazvukovém principu využívajícím princip rozdílu času přechodu ultrazvukového signálu mezi dvěma protijdoucími směry proudění vody s počítadlem, které pracuje na elektromechanickém nebo elektronickém principu zaznamenávání protečeného množství,
- e) **vírová měřidla** – založené na principu snímání frekvence vírů vznikajících za překážkou v proudění, s počítadlem, které pracuje na elektromechanickém nebo elektronickém zaznamenávání protečeného množství,
- f) **kombinovaná měřidla** – založené na principu dvou paralelně zapojených měřidel různé velikosti a přepínacího zařízení, které zabezpečuje usměrnění proudění vody při menších průtocích jenom menším měřidlem a při větších průtocích oběma nebo větším měřidlem.
- Podle principu činnosti se **průtokoměry na vodu** – členy měřičů tepla člení na měřidla:
- a) **mechanické průtokoměry** – založené na přímém mechanickém působení za použití odměrných komor s pohyblivými stěnami anebo za působení rychlosti proudění vody na rychlost otáčení pohyblivé části (turbiny nebo oběžného kola),
- b) **elektromagnetické průtokoměry** – založené na elektromagnetickém principu využívajícím Faradayův zákon o elektromagnetické indukci s vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo,
- c) **ultrazvukové průtokoměry** – založené na ultrazvukovém principu využívajícím princip rozdílu času přechodu ultrazvukového signálu mezi dvěma protijdoucími směry proudění vody s vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo,
- d) **vírové průtokoměry** – založené na principu snímání frekvence vírů vznikajících za překážkou v proudění, s vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo,
- e) **fluidikové průtokoměry** – založené na principu Coandovho efektu, když voda proudící dostatečnou rychlostí mezi dvěma blízkými stěnami má tendenci přimknout se k jedné z nich. Konstrukce průtokoměru vytváří fluidikový oscilátor, při kterém frekvence oscilací je úměrná rychlosti proudění vody, a tím i okamžitému průtoku.

3.7 Legislativa a normativní dokumenty

VODOMĚRY			
ZPŮSOB UVEDENÍ NA TRH	Položky přílohy k vyhlášce č. 345/2002 Sb.	PŘEDPISY PRO UVÁDĚNÍ NA TRH	PŘEDPISY PO UVEDENÍ NA TRH
Posuzování shody Vodoměry na čistou studenou nebo teplou vodu pro použití v oblasti bydlení, obchodu a lehkého průmyslu	1.3.9 a) 1.3.9 b)	Nařízení vlády o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh č. 120/2016 Sb., Příloha č. 1, Obecné požadavky, Příloha č. 3, Vodoměry (MI-001) Harmonizované ČSN EN: ČSN EN 14154-1+A2:2011 Vodoměry - Část 1: Všeobecné požadavky, (zrušená – zatím harmonizovaná) je nahrazena ČSN EN ISO 4064-4:2015 Vodoměry pro studenou pitnou vodu a teplou vodu - Část 4: Nemetrologické požadavky nezahrnuté v ISO 4064-1 (zatím neharmonizovaná) a ČSN EN ISO 4064-1:2015 Vodoměry pro studenou pitnou vodu a teplou vodu - Část 1: Metrologické a technické požadavky (zatím neharmonizovaná), ČSN EN 14154-2+A2:2011 Vodoměry - Část 2: Instalace a podmínky použití (zrušená – zatím harmonizovaná) je nahrazena ČSN EN ISO 4064-5:2015 Vodoměry pro studenou pitnou vodu a teplou vodu - Část 5: Požadavky na instalaci (zatím neharmonizovaná), ČSN EN 14154-3+A2:2011 Vodoměry - Část 3: Zkušební metody a zařízení (zrušená – zatím harmonizovaná) je nahrazena ČSN EN ISO 4064-2:2015 Vodoměry pro studenou pitnou vodu a teplou vodu - Část 2: Zkušební metody (zatím neharmonizovaná). Normativní dokumenty OIML: OIML R 49-1: 2006 Water meters intended for the metering of cold potable water and hot water Part 1: Metrological and technical requirements (zrušený – zatím harmonizovaný) je nahrazen OIML R 49-1: 2013 Water meters for cold potable water and hot water. Part 1: Metrological and technical requirements (zatím neharmonizovaný). OIML R 49-2: 2004 Water meters intended for the metering of cold potable water Part 2: Test methods (zrušený – zatím harmonizovaný) je nahrazen OIML R 49-2: 2013 Water meters for cold potable water and hot water. Part 2: Test methods (zatím neharmonizovaný).	Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C035-14 Měřidla protečeného množství vody – vodoměry, které jsou určeny k použití v obytných a obchodních prostorách a v lehkém průmyslu Oznámené normy k OOP: ČSN EN 14154-1+A2 Vodoměry - Část 1: Všeobecné požadavky, ČSN EN 14154-2+A2 Vodoměry - Část 2: Instalace a podmínky použití, ČSN EN 14154-3+A2 Vodoměry - Část 3: Zkušební metody a zařízení, ČSN EN 24185+AC:1995 Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech. Vážicí metoda, ČSN EN ISO 6817 Měření průtoku vodivých kapalin v uzavřených profilech - Metoda užívající indukční průtokoměry

Metrologická kontrola EHS	1.3.9 a) 1.3.9 b)	Vyhláška č. 334/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na studenou vodu označované značkou EHS, která byla novelizována vyhláškou č. 260/2003 Sb. Vyhláška č. 334/2000 Sb. byla zrušena k 1. 12. 2015. Vyhláška č. 333/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na teplou vodu označované značkou EHS, která byla novelizována vyhláškou č. 260/2003 Sb. Vyhláška č. 333/2000 Sb. byla zrušena k 30. 10. 2016.	PNÚ 1420.2 Vodomery na studenú vodu. Metódy skúšania pre úradné overovanie, TPM 6621-97 Měření průtoku vody v uzavřených potrubích, měřidla pro studenou pitnou vodu; metody zkoušení TPM 6622-97 Měření průtoku vody v uzavřených potrubích, měřidla pro studenou pitnou vodu; kombinovaná měřidla; metody zkoušení TPM 6623-08 Statistické výběrové zkoušky objemových vodoměrů pro studenou vodu; postup provádění a vyhodnocování zkoušek PNÚ 1425.2 Vodomery na teplú vodu. Metódy skúšania pre úradné overovanie
Metrologická kontrola EHS	1.3.9 a)	Vyhláška č. 334/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na studenou vodu označované značkou EHS, která byla novelizována vyhláškou č. 260/2003 Sb. Vyhláška č. 334/2000 Sb. byla zrušena k 1. 12. 2015.	PNÚ 1420.2 Vodomery na studenú vodu. Metódy skúšania pre úradné overovanie, TPM 6621-97 Měření průtoku vody v uzavřených potrubích, měřidla pro studenou pitnou vodu; metody zkoušení TPM 6622-97 Měření průtoku vody v uzavřených potrubích, měřidla pro studenou pitnou vodu; kombinovaná měřidla; metody zkoušení TPM 6623-08 Statistické výběrové zkoušky objemových vodoměrů pro studenou vodu; postup provádění a vyhodnocování zkoušek
Národní metrologická kontrola	1.3.9 a) 1.3.9 b)	Možnost prvotního ověření podle národního rozhodnutí o schválení typu skončila 30. 10. 2016.	ČSN 25 7801 Vodomery. Základné ustanovenia, PNÚ 1420.2 Vodomery na studenú vodu. Metódy skúšania pre úradné overovanie, TPM 6620-94 Bubnové vodoměry; metody zkoušení při ověřování TPM 6621-97 Měření průtoku vody v uzavřených potrubích, měřidla pro studenou pitnou vodu; metody zkoušení TPM 6622-97 Měření průtoku vody v uzavřených potrubích, měřidla pro studenou pitnou vodu; kombinovaná měřidla; metody zkoušení TPM 6623-08 Statistické výběrové zkoušky objemových vodoměrů pro studenou vodu; postup provádění a vyhodnocování zkoušek PNÚ 1425.2 Vodomery na teplú vodu. Metódy skúšania pre úradné overovanie
Národní metrologická kontrola	1.3.9 a) 1.3.9 c) 1.3.9 d)	ČSN 25 7801 Vodomery. Základné ustanovenia, PNÚ 1420.2 Vodomery na studenú vodu. Metódy skúšania pre úradné overovanie, TPM 6620-94 Bubnové vodoměry; metody zkoušení při ověřování TPM 6621-97 Měření průtoku vody v uzavřených potrubích, měřidla pro studenou pitnou vodu; metody zkoušení TPM 6622-97 Měření průtoku vody v uzavřených potrubích, měřidla pro studenou pitnou vodu; kombinovaná měřidla; metody zkoušení TPM 6623-08 Statistické výběrové zkoušky objemových vodoměrů pro studenou vodu; postup provádění a vyhodnocování zkoušek	
	1.3.11 a)	ČSN EN ISO 5167-1 Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 1: Obecné principy a požadavky, ČSN EN ISO 5167-2 Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 2: Clony	

SNÍMAČE PRŮTOKU VODY MĚŘIČŮ TEPLA			
ZPŮSOB UVEDENÍ NA TRH	Položky přílohy k vyhlášce č. 345/2002 Sb.	PŘEDPISY PRO UVÁDĚNÍ NA TRH	PŘEDPISY PO UVEDENÍ NA TRH
Posuzování shody	3.1.2 a) 3.1.2 b)	Nařízení vlády o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh č. 120/2016 Sb., Příloha č. 1, Obecné požadavky, Příloha č. 6, Měřidla tepelné energie (MI-004) Harmonizované ČSN EN: ČSN EN 1434-1:2008 Měřidla tepla - Část 1: Všeobecné požadavky (zrušená – zatím harmonizovaná) je nahrazena ČSN EN 1434-1:2016 Měřidla tepla - Část 1: Obecné požadavky (zatím neharmonizovaná). ČSN EN 1434-2:2008 Měřidla tepla - Část 2: Konstruktivní požadavky (zrušená – zatím harmonizovaná) je nahrazena ČSN EN 1434-2:2016 Měřidla tepla - Část 2: Konstruktivní požadavky (zatím neharmonizovaná). ČSN EN 1434-4:2008 Měřidla tepla - Část 4: Zkoušky pro schválení typu (zrušená – zatím harmonizovaná) je nahrazena ČSN EN 1434-4:2016 Měřidla tepla - Část 4: Zkoušky pro schválení typu (zatím neharmonizovaná). ČSN EN 1434-5:2008 Měřidla tepla - Část 5: Zkoušky pro prvotní ověření (zrušená – zatím harmonizovaná) je nahrazena ČSN EN 1434-5:2016 Měřidla tepla - Část 5: Zkoušky pro prvotní ověření (zatím neharmonizovaná). Normativní dokumenty OIML: OIML R 75-1:2002 Heat meters Part 1: General requirements OIML R 75-2:2002 Heat meters Part 2: Type approval tests and initial verification tests	Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C050-14 Měřidla tepla – kompaktní a kombinovaná měřidla tepla pro použití v obytných a obchodních prostorách a v lehkém průmyslu Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C047-14 Měřidla tepla a jejich členy – snímače průtoku pro použití v obytných a obchodních prostorách a v lehkém průmyslu Oznámené normy k OOP: ČSN EN 1434-1 Měřidla tepla - Část 1: Všeobecné požadavky, ČSN EN 1434-2 Měřidla tepla - Část 2: Konstruktivní požadavky, ČSN EN 1434-5 Měřidla tepla - Část 5: Zkoušky pro prvotní ověření
Metrologická kontrola EHS	Měřiče tepla nejsou předmětem metrologické kontroly EHS		
Národní metrologická kontrola	3.1.2 a) 3.1.2 b)	Možnost prvotního ověření podle národního rozhodnutí o schválení typu skončila 30. 10. 2016.	TPM 3721-93, Elektrické merače tepla. Technické požadavky TPM 3722-93, Elektrické merače tepla. Metody zkoušení při overování ČSN EN ISO 5167-1 Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 1: Obecné principy a požadavky, ČSN EN ISO 5167-2 Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 2: Clony

Poznámky:

Autorizovaná metrologická střediska provádějící ověřování stanovených měřidel jsou uvedena na stránce: http://www.unmz.cz/urad/data_ams_1.asp?cd=488&typ=r

Aktuální stav harmonizovaných ČSN EN uvádí: <http://www.nlfnorm.cz/ehn/kategorie/104> a stav normativních dokumentů OIML uvádí: https://ec.europa.eu/growth/single-market/goods/building-blocks/legal-metrology/measuring-instruments_en

Aktuální stav oznámených norem k OOP uvádí: <https://www.cmi.cz/node/212>

Výrobce může zvolit jakékoli technické řešení, které splňuje základní technické požadavky. Aby mohl výrobce využít předpoklad shody, musí správně použít řešení uvedená v příslušných harmonizovaných normách nebo v normativních dokumentech (podle § 11, odst. 2 nařízení vlády č. 120/2016 Sb.)

Reference

- [3.1] Deset let cejchovní služby 1918 – 1928. Zvláštní otisk z publikace "Deset let Československé republiky" Díl II., Praha 1928.
- [3.2] SKÁKALA, J.: Qualitative Strömungsuntersuchungen in Flügelrad-Wassermessern. In: Acta IMEKO, 1961, 11-CZ-65, Budapest, Hungary.
- [3.3] ŠINDELÁŘ, V.: Dnešní stav Československého metrologického ústavu. Měrová technika, 7, 1968, 8, s. 117-120.
- [3.4] TRŽIL, J. – CHREN, I.: Štátní etalon přítoku a pretečeného množství vody. Československá standardizace, 8, 1983, 12, s. 546-549.
- [3.5] HENGSTENBERG, J. – STURM, B. – WINKLER, O. (eds.): Messen, Steuern und Regeln in der Chemischen Technik. Band I, Betriebsmeßtechnik I, Messung von Zustandsgrößen. Springer-Verlag, Berlin 1980.
- [3.6] BONFIG, K. W.: Technische Durchflussmessung. Vulkan-Verlag, Essen 2001, 280 s.
- [3.7] SPITZER, D. W.: Flow Measurement: Practical Guides for Measurement and Control. ISA, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2001, 828 s.

4. METROLOGIE PRŮTOKU A PROTEČENÉHO MNOŽSTVÍ VODY V PROFILECH S VOLNOU HLADINOU

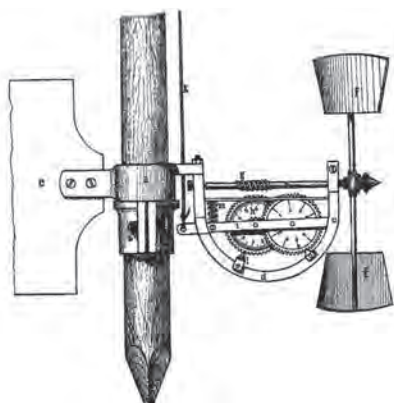
4.1 Vývoj metrologie průtoku vody v profilech s volnou hladinou

Nejstarší způsoby měření průtoků sahají až do doby starých civilizací, které se rozprostíraly v Asii podél velkých řek Jang-c'-ťiang, Chuang-che, Ganga, Eufrat a Tigris a egyptského Nilu. Vzhledem k tomu, že všechny tyto civilizace měly vysoce propracovaný způsob zavlažování a odvodňování, předpokládá se, že byly schopny sledovat a měřit množství protečené vody. Pravděpodobně nejstarším dochovaným důkazem o sledování vodní hladiny řeky Nilu je do skály vyrytá stupnice z doby asi 2200 let př. n. l. V období renesance se do dějin hydrauliky výrazně zapsal Leonardo da Vinci a jeho pokusy s plovákovou metodou.

4.1.1 Vývoj metod využívajících kontinuitní princip

Hydrometrické vrtule

Jedním ze způsobů měření průtoku vody v otevřených kanálech je použití hydrometrické vrtule. První typ vodoměrné vrtule lopatkovitěho typu byl sestaven v 17. stol. a v dalším století byl zdokonalován. V roce 1787 spatřila světlo světa Woltmanova vrtule, díky níž bylo možné stanovit rychlost proudění na základě počtu impulzů (otáček) za určitou dobu.



Obr. 4.1: Vrtule podle Reinharda Woltmana



Obr. 4.2: Priceova vrtule

Postupným vývojem byly lopatky nahrazeny propelery šroubovicového typu, tak jak jsou užívány dodnes. V roce 1871 vyvinul profesor A. R. Harlacher elektrický snímač počtu otáček. Dříve používané mechanické kontakty, které dávaly signál po několika (i desítkách) otáčkách, jsou dnes nahrazeny magnetickými spínači, které dávají impuls při každé otáčce. Tato změna byla podmíněna i rozvojem elektroniky – akustická signální zařízení byla nahrazena elektronickými čítači impulzů, které načítají impulsy generované spínacím zařízením vrtule po předem nastavenou dobu. Hydrometrické vrtule začaly být sériově vyráběny firmou OTT v roce 1885 v německém Kemptenu. Ve Spojených státech patentoval roku 1885 svůj typ vrtule inženýr W. G. Price. Jeho model se od evropského lišil tím, že měl svislou osu a propeler tvořilo šest kornoutů uspořádaných na obvodu kružnice tak, že osy kornoutů byly tečné k této kružnici. Zásadní rozdíl mezi oběma typy spočívá v tom, že vrtule Woltmanova typu reaguje správně pouze na rychlost, jejíž směr je rovnoběžný s její osou, zatímco u Priceovy vrtule na směru vektoru rychlosti v horizontální rovině nezáleží. To má dost zásadní důsledky z hlediska měření – vrtule s horizontální osou je třeba při měření vždy ustavit ve směru proudění, pokud nemají komponentní propeler. Kromě toho se udává, že vrtule s horizontální osou má, zejména při malých rychlostech proudění, poněkud větší nejistoty měření. Priceova vrtule je navíc konstrukčně jednodušší. I přesto má však Woltmanův typ řadu výhod a stal se používanějším.

Vrtule vyráběné firmou OTT prošly vývojem až k dnes nejčastěji používaným typům C-2 a C-31. Roku 1967 přibyla na trh s měřicí technikou německá firma SEBA. Ostatní evropské společnosti jako např. Amsler, Ganster nebo československá Metra již ukončily provoz. V 80. letech 20. stol. vyráběl vlastní vrtule i Výzkumný ústav vodního hospodářstva v Bratislavě.



Vrtule vídeňské firmy Ganster



OTT Texas



Československá vrtule Metra



Vrtule OTT IV



Metra – vnitřek vrtule

VÚVH Bratislava

Obr. 4.3: Ukázka vývoje hydrometrických vrtulí – konstrukce různých výrobců

Hydrometrické vrtule typu Metra se před započítím každého měření plnily čerstvým petrolejem a vkládaly se do nich ložiskové kuličky, které byly jinak uchovávané ve vazelině nebo oleji. Dnešní vrtule jsou plněny speciálním propelerovým olejem dodávaným výrobcem. U vrtulí SEBA a OTT C-31 se olej lije do dutiny propeleru, u vrtulí OTT C-2 do dutiny těla. Olej by ve vrtuli neměl zůstat déle než týden, pokud se s vrtulí delší dobu neměří, je třeba ji vyčistit a propláchnout technickým benzinem, usušit a skladovat bez oleje.



Obr. 4.4: Současná vrtule OTT C-31 s digitálním počítadlem otáček

Součástí těla hydrometrické soustavy je sada propelerů s různými stoupáními šroubovice a tudíž s různými omezeními jejich použití v praxi. Nejčastěji používaná stoupání a omezení jejich rychlostí jsou uvedena v následující tabulce.

Stoupání [m]	0,050	0,100	0,125	0,250	0,500	1,000
Rozsah rychlostí [m·s ⁻¹]	0,02 -	0,02 -	0,06 -	0,06 -	0,06 -	0,02 -
	1,50	2,50	3,50	5,00	6,00	7,00

Přehled stoupání propelerů a rozsah jejich doporučených rychlostí.

Elektromagnetická (indukční) měřidla

Tyto přístroje fungují na principu Faradayova zákona, kdy se na vodiči v magnetickém poli indukuje elektric-

ký proud. Předpokládáme, že voda v otevřených korytech (jak přírodních, tak umělých) je dostatečně vodivá, minimální hranice vodivosti je $0,05 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Snímané indukované napětí je přímo úměrné rychlosti proudění kapaliny v daném místě. Výhodou těchto měřidel, oproti hydrometrickým vrtulím, je jejich větší citlivost na minimální průtoky a snazší údržba. Své využití našla především při měření průtoku odpadních vod. Z dnes již běžně užívaných indukčních měřidel je to např. OTT MF Pro, který slouží k zjištění okamžité rychlosti proudění. Pro dlouhodobější sledování průtoku lze použít, na stejném principu fungující, sensory proudění umístěné přímo ve vodním toku.

Ultrazvuková měřidla

Tato měřidla fungují na Dopplerově principu. Pro měření průtoků v otevřených korytech se používá typ ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), který měří rychlost v řadě míst podél paprsku. Jeho použití je ideální na větších tocích s rovnoměrným profilem bez vegetace, od minimální hloubky 0,30 m. Tato metoda je poměrně přesná a rychlá, vyhodnocení průtoku se děje přes počítačový program. Pro praktické měření je třeba mít přes vodní tok lávku či mostek (**obr 4.6**) nebo na místě sestavit lanovku.



Obr. 4.5: Elektromagnetický snímač rychlosti proudění OTT MF Pro upevněný k tyči kalibračního vozíku



Obr. 4.6: Ultrazvukový snímač StreamPro ADCP se sondou připevněnou na plastový plovák držžený na laně

4.1.2 Vývoj měřicích systémů s funkční závislostí průtoku na úrovni hladiny

Parshallův žlab byl navržen koncem dvacátých let 20. století pro měření průtoku závlahových vod. V současnosti se používá pro měření odpadových vod s trvalou nebo dočasnou instalací. Žlab je popsán v části 4.5.1.

Palmer-Bowlusův žlab byl navržen v třicátých letech 20. století jako žlab, který lze umístit do stávajícího kanálu. Žlab typu „catthroat“ pochází z období po roce 1960 a je určen pro oblasti s velmi malým sklonem terénu, nebo bez sklonu.

Přelivy jsou obecně používány k měření průtoku odpadních vod, které obsahují velmi malé množství suspenovaných pevných látek. Jsou-li tyto přelivy vyrobeny a instalovány v souladu s normami a používány za dobře kontrolovaných podmínek, dávají výsledky srovnatelné s přesností jiných metod.

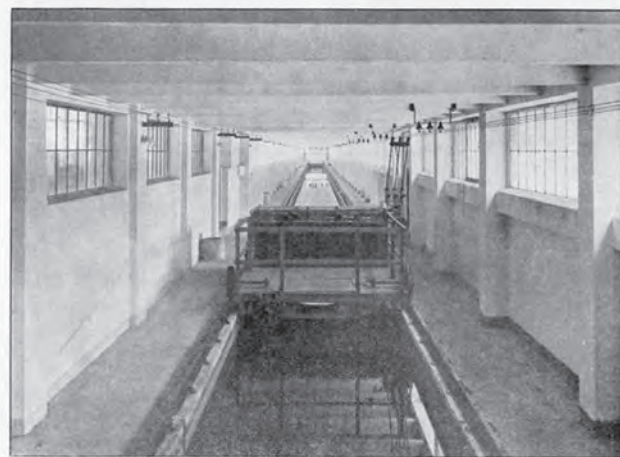
Podrobnosti žlabů a přelivů se zabírají např. publikace [4.11] a [4.12].

4.1.3 Vývoj etalonážních metod

Všechna výše uvedená měřidla průtoku podléhají pravidelné kalibraci podle ISO 2537 a ISO 3455. Jediným akreditovaným pracovištěm v České republice je Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí (ČKSVV) ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka v Praze. Kalibrační stanice je v provozu od roku 1930, kdy byla otevřena nová budova tehdy Státního výzkumného ústavu hydrotechnického v pražské Podbabě. Vůbec první kalibrační vozík byl ale v provozu již roku 1875 ve vltavském přístavu. Postaral se o to profesor Andreas Rudolf Harlacher, přednosta hydrometrické sekce Hydrografické komise pro České království. Tento vozík měl ještě ruční pohon a pohyboval se po kolejnicích o délce 80 m. Další evropské kalibrační stanice s již speciálními tárovacími žlaby ve Vídni a v Bernu byly zprovozněny roku 1896.

Velký pokusný žlab ČKSVV je napouštěn vodou z plavebního kanálu Trojského jezu. Žlab má mezi stavidly I a IV délku 248,9 m a dno ve sklonu. Sestává se z vtokové části, náplustné části (vyrovnávací trati), vlastní kalibrační části žlabu, výpustné části (měrné nádrže) a výtokové části. Kalibrační žlab je vymezen úsekem mezi stavidly II a III, jejichž vzájemná vzdálenost je 182,6 m. Žlab má svislé stěny, konstantní šířku 2,5 m a sklon dna 0,4 ‰, hloubka žlabu na konci je 2,13 m. Jedná se tedy v souladu s normou ISO 3455 o přímou otevřenou nádrž o objemu cca 959 m³. Užité délka žlabu pro kalibraci činí 152,6 m a hloubka vody je 1,8 m. Tato část pokrývá úseky akcelerační, stabilizační, měrný a brzdový. Zatímco tvář samotného kalibračního žlabu zůstala od doby svého vzniku téměř beze změn, kalibrační vozíky prošly značným vývojem. První typ zhotovila v roce 1930 firma Českomoravská-Kolben-Daněk. Tato elektrická lokomotiva měla elektrický pohon s regulací rychlosti mechanickou dvoustupňovou převodovkou a regulací obrátek motoru Ward-Leonardovým soustrojím. Rychlost pojezdu vozíku byla od 0,02 m/s do 6 m/s. Snímání dráhy zajišťovaly železné válečky o rozteči 5 m, na které naráželo pružné

pero. Registračním zařízením byl tříkanálový chronograf, zaznamenávající na papírový pás impulzy registrující projetou dráhu, čas ve vteřinách a počet obrátek, resp. impulzů hydrometrické vrtule.



Obr. 4.7: Pohled na první typ kalibračního vozíku z roku 1930.

V roce 1962 byl vystřídán modernějším modelem od firmy Kempf-Römmers s novým chronografem a o tři roky později s elektronickým záznamovým zařízením Ing. Sotorníka, které nahradilo chronograf s mechanickým snímáním dráhy. Bylo možné kalibrovat tři vrtule současně. Velkou výhodou systému byla hlavně možnost předvolby počtu impulzů vrtule a určení kalibrační dráhy pomocí dlouhého kovového pásu s otvory po 0,05 m s optoelektronickým snímáním. Tento systém se natolik osvědčil, že je používán dodnes. Počítadla otáček i impulzů dráhy byla elektromechanická, časovou základnu představovaly krystalové křemenné hodiny s rozlišením času 0,01 s. Přenos dat z vozíku do tzv. velínu umístěného vedle žlabu byl realizován bezdrátově vysílačem o malém výkonu. S nástupem počítačů třídy PC bylo roku 1991 zavedeno automatizované zpracování dat. Třetí typ vozíku a jeho výrobu, včetně systému pro řízení a sběr dat a jejich přenos do centrálního velínu, zajistila firma DICONT a.s. Tento model již bylo možné ovládat nejen přímo z plošiny, ale i dálkově z velínu. Přenos dat mezi vozíkem a velínem byl řešen optoelektronicky, a to IČ prvky, součástí byl software pro automatizované zpracování dat. V únoru 1997 byl uveden do pravidelného provozu, který ukončila povodeň v srpnu 2002, kdy bylo celé vybavení stanice zcela zničeno. Nový vozík s příslušnou elektronikou pro řízení provozu a sběr dat dodala opět firma DICONT a.s. Spojení vozíku s velínem je nyní řešeno pomocí zařízení pro bezdrátový přenos dat (Wi-Fi). V rámci stavebních úprav žlabu došlo i k přesunu velínu o poschodí výše (nad úroveň hladiny 100leté povodně), byl žlab vybaven kamerovým systémem dovolujícím vizuální kontrolu při automatickém bezobslužném provozu. Nový systém byl po úspěšných zkouškách uveden do provozu v lednu 2005. Rychlost pojezdu současného vozíku je od 0,02 m/s do 10 m/s. Pro kalibrace se využívá maximální rychlosti 7 m/s.

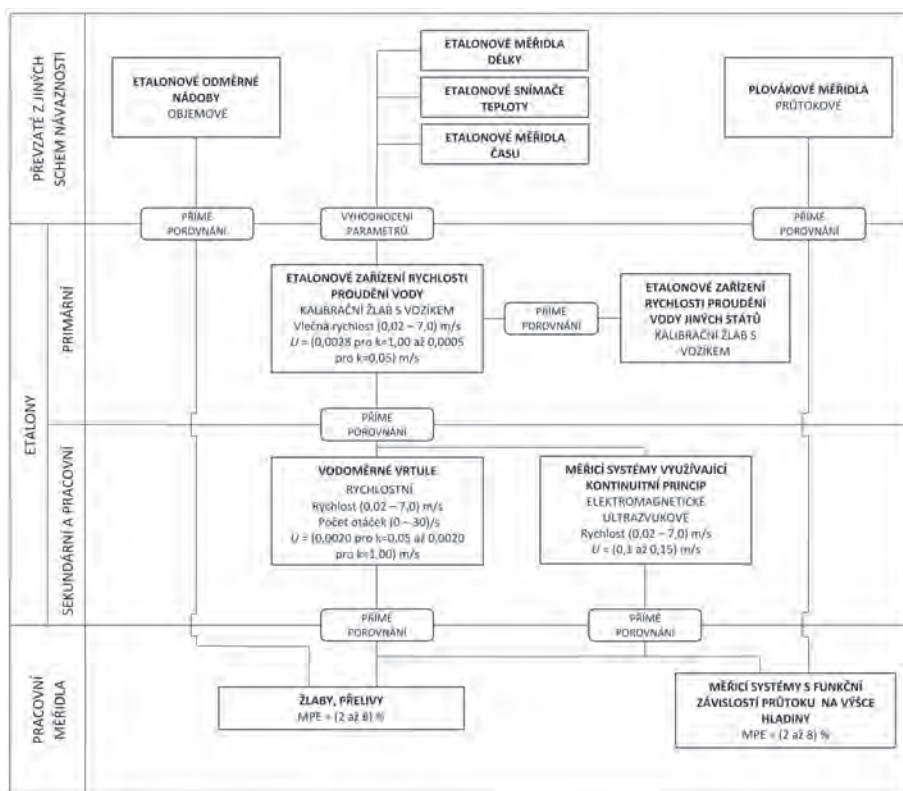


Obr. 4.8: Kalibrační vozík z roku 2005.

Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí poskytovala či poskytuje své služby institucím a firmám, které se zabývají měřením průtoku v profilech s volnou hladinou. Mimo domovské instituce Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka je to Český hydrometeorologický ústav, Podniky povodí, Pražské vodovody a kanalizace, Agentura ochrany přírody a krajiny, České vysoké učení technické a řada soukromých firem (Aquatest, Ekora, Elzaco a další).

4.2 Metrologická návaznost

Schéma návaznosti byla vytvořena podle MPM 1 – 96 Schéma návaznosti měřidel. Zásady tvorby.



Obr. 4.9: Schéma návaznosti měřidel průtoku a protečeného množství vody v profilech s volnou hladinou

4.3 Etalonové zařízení pro zkoušky vodoměrných vrtulí (kalibrační žlab s vozíkem)

Kalibrace vodoměrných vrtulí je předepsaná normou ISO 3455 Hydrometry – Calibration of current-meters in straight open tanks. Kalibrací se v tomto případě rozumí experimentální stanovení vztahu mezi rychlostí kapaliny a počtem otáček otočného prvku vrtule nebo stanovení rychlostí přímo indikovaných měřidlem. Norma specifikuje postup kalibrace vodoměrných vrtulí s rotačním prvkem a se stacionárním snímačem v přímých otevřených nádržích, a to na základě vlečení vrtule klidnou vodou v přímé nádrži pravidelného průřezu řadou konstantních rychlostí. Přitom se měří rychlost vlečného vozíku a počet otáček vrtule. Vzájemný vztah obou souborů hodnot se potom vyjádří jednou až třemi rovnicemi, u kterých je specifikována oblast jejich použití. Podle této normy vyžaduje kalibrování vrtule současné měření tří veličin, kterými je měření vzdálenosti projeté vozíkem, měření počtu impulzů vyslaných vrtulí a měření času. Postup a metrologická charakteristika měření uvedených veličin je následující.

4.3.1 Měření vzdálenosti

Měření vzdálenosti projeté kalibračním vozíkem se děje pomocí optoelektrického snímání délkových značek – pravouhlých výřezů v kovovém pásu o vzájemné vzdálenosti odpovídajících si hran 0,100 m v kovovém pravítku, umístěném rovnoběžně podél celé dráhy pohybu kalibračního vozíku. Optické snímání jednotlivých délkových značek se převádí na elektrické impulzy načítané čítačovým vstupem počítače. Ten má rozlišovací frekvenci 10 MHz, tj. cca o 5 řádů vyšší, než jsou reálné frekvence impulzů ze snímače, a zaručuje tedy z principu spolehlivé načtení všech impulzů. Kromě toho se mezi značkami pravítka vzdálenost interpoluje s pomocí optoelektronických snímačů umístěných v motorech s rozlišením 0,001 m, přičemž podle vyjádření dodavatele je nejistota interpolace 0,01 m.

Relativní rozlišovací schopnost vzdálenosti 0,1 % je přitom s ohledem na nejistotu interpolace dosažena při dráze 10 m.

Maximální použitelná dráha závisí do značné míry na rychlosti vozíku – rozjezdová i brzdná dráha se se zvětšováním rychlosti prodlužují; při rychlostech do ca 5 m·s⁻¹ je ca 50 m. Podobně závisí i na upevnění vrtule – při závěsu vrtule na laně se závažím jsou rozjezdová a brzdná dráha delší než při upevnění vrtule na tyči a dále se prodlužují s hmotností závaží.

Vztah pro zjištění celkové projeté vzdálenosti je uveden v následující rovnici:

$$l = D \cdot l_i + d \cdot l_j$$

- l_i je jednotková míra vzdálenosti pravítka [m]
 D je celkový počet značek vzdálenosti načtený během jedné jízdy vozíku [–]
 l_j je jednotková míra vzdálenosti interpolace [m]
 d je celkový počet impulsů interpolace [–]

4.3.2 Měření impulsů

Měření počtu impulsů vyslaných vodoměrnou vrtulí se provádí pomocí čítačového vstupu počítače. Rozlišovací frekvence čítače je cca o 5 řádů vyšší, než jsou reálné frekvence impulsů z vrtulí, a tím je z principu zaručeno spolehlivé načtení všech impulsů vygenerovaných vodoměrnou vrtulí.

4.3.3 Měření času

Čítání času probíhajícího intervalu kalibračního měření se provádí SW čítačem kmitočtu, odvozeného z krystalového generátoru příslušného počítače in-line. Vzhledem k tomu, že se jedná o změřený časového intervalu řádově 10 až 100 s, s přesností 0,1 % a nejedná se o absolutní čas, je přesnost křemíkového krystalu v generátoru (se základní frekvencí 60 MHz a její odchylkou lepší než 10^{-4}) vyhovující s velmi vysokou rezervou. Metrologická návaznost je zajištěna pravidelnou kalibrací oscilátoru periferní jednotky čítače/časovače. Maximální měřený časový interval je softwarově omezen na $T_{\max} = 300$ s.

4.3.4 Princip kalibrace

Před kalibrací je vodoměrná vrtule rozebrána, vyčištěna a její tělo (u vrtulí OTT C32 propeler) je naplněno čerstvým propelerovým olejem. Po upevnění ke kalibračnímu vozíku je zahájena vlastní kalibrace, kdy se prostřednictvím uživatelského rozhraní řídicího počítače předem nastaví počet kalibračních bodů a pro každý bod požadovaný počet otáček vrtule, požadovaná rychlost vozíku a doba uklidnění vody mezi jednotlivými jízdami. Po spuštění programu se vozík rozjede a po dosažení nasta-

vené rychlosti zahájí řídicí počítač sběr dat. První signál od vrtule zapíná měření projeté vzdálenosti a času. Zároveň se načítají signály od vrtule a v okamžiku, kdy je dosažen jejich přednastavený počet, měření dráhy a času se ukončí a data se bezdrátově předají do řídicího počítače ve velínu. Současně začne měření doby pro uklidnění vody ve žlabu. Po jejím dosažení se celý cyklus opakuje pro všechny zadané kalibrační body. Standardní počet kalibračních bodů (tedy jednotlivých jízd) je 16 až 20, přičemž vzdálenost mezi body se mírně zvětšuje se zvyšující se rychlostí. Po realizaci všech určených vlečných rychlostí jsou data zpracovávána počítačem a je vyhodnocena kalibrační rovnice ve tvaru:

$$v = a + b \cdot n$$

kde:

v je rychlost vlečného vozíku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

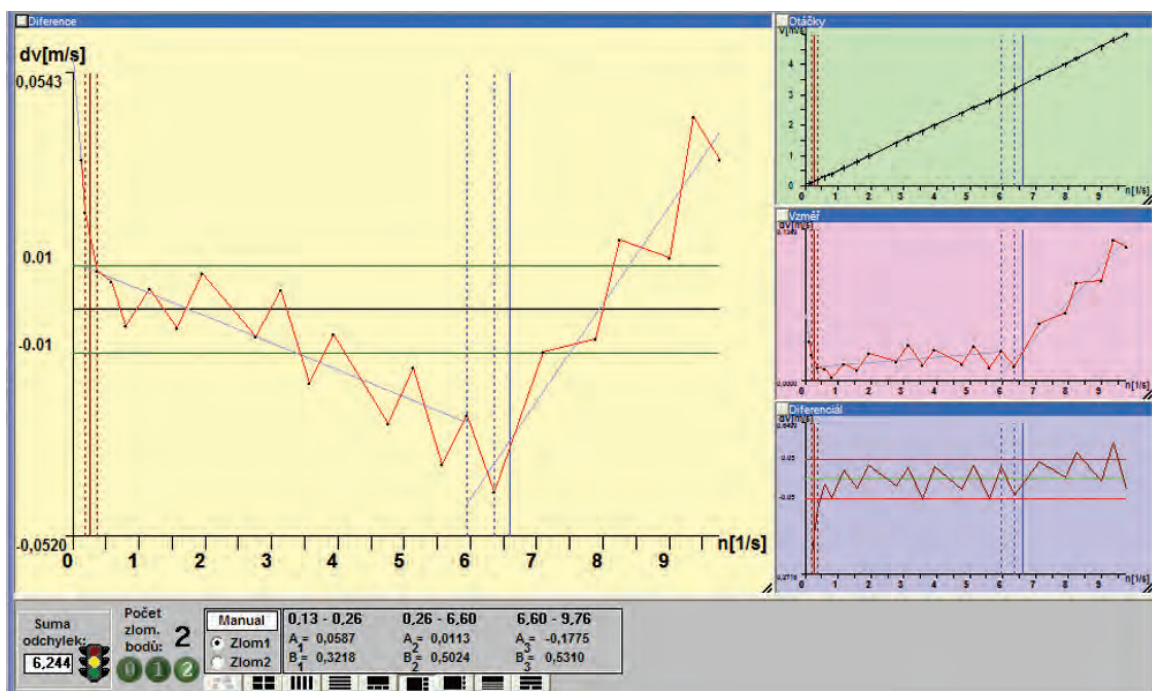
n je frekvence impulsů z vrtule [s^{-1}]

a, b jsou konstanty vrtule [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; m]

Konstanty a, b zahrnují vliv charakteristických vlastností určitého druhu vodoměrné vrtule pro jí vymezený interval měřitelných rychlostí jako: stoupání propeleru vrtule, korekce na hydrodynamické odpory při obtékání vrtule, korekce na mechanické odpory mechanismu vrtule aj. Výsledek kalibrace je zpracován číselně i graficky do kalibrační křivky, výstupem je kalibrační list s přílohami (graf a tabulka naměřených hodnot).

Norma připouští v případě měření pomocí elektronických čítačů výpočet ze zprůměrovaných hodnot, které jsou změřené a načítané za jednu jízdu kalibračním vozíkem konstantní rychlostí. V tomto případě platí následující vztah pro výpočet zprůměrované rychlosti vozíku.

$$v = \frac{l}{t_2}$$



Obr. 4.10: Ukázka grafu vyhodnocovacího programu VRTULE (přesnost proložených přímek).

Výpočet zprůměrované frekvence impulzů z vrtule

$$n = \frac{N}{t_1}$$

kde:

l je celkově ujetá vzdálenost, změřená během jedné jízdy vozíku [m]

N je celkový počet impulzů vrtule načítaný během jedné jízdy vozíku [–]

t_1, t_2 je doba měření N, l [s]

4.4 Úřední měření měřicích systémů a jiná kontrola (kalibrace) v profilech s volnou hladinou

Úřední měření podléhá metrologickému předpisu MP 010/2013 (Úřední měření průtoku vody v prismatických profilech s volnou hladinou). Vztahuje se na měřidla a měřicí systémy pro stanovení protečeného objemu vody, které jsou trvale instalované v profilech s volnou hladinou u provozovatele, pro používání v závazkových vztazích nebo pro měření v rámci resortu ochrany životního prostředí podle příslušných předpisů. Tyto měřicí systémy jsou popsány v TNV 25 9305.

Pro měření průtoku v korytech přirozených vodních toků je určena norma ČSN EN ISO 748 (Hydrometrie – Měření průtoku kapalin v otevřených korytech použitím vodoměrných vrtulí nebo plováků).

Zkušební vybavení pro posouzení funkční způsobilosti je podle MP 010/2013:

- Zařízení na měření úrovně vodní hladiny a na měření šířek profilu a ostatních délkových rozměrů (ocelová měřítka, sondovací tyče, hrotová nebo háková měřidla).
- Zařízení na měření bodové rychlosti proudu (vodoměrné vrtule propelerového typu).

- Zařízení na měření času (mechanické nebo elektronické stopky).
- Zařízení na měření teploty (teploměr s hodnotou dílku 0,5 °C).
- Odměrné nádoby (kalibrované odměrné nádoby z pevných materiálů)

Během samotného měření se hodnota průtoku nesmí změnit o více než 0,3 % jeho nižší hodnoty po přepočtu na dobu jedné minuty nepřerušného měření. Změní-li se hodnota průtoku o více než 0,5 % jeho nižší hodnoty, musí se měření provést minimálně třikrát.

Průtok lze stanovit metodou měření rychlosti vody v profilu (hydrometrické vrtule, indukční a ultrazvuková měřidla, plováková metoda) a metodami přímými (měrné přelivy, měrné žlaby, objemová a směšovací metoda). Metrologický předpis MP 010/2013 popisuje měření průtoku a proteklého množství hydrometrováním v prismatickém profilu a objemovou metodou.

4.4.1 Hydrometrování vodoměrnou vrtulí

Měření rychlosti proudění pomocí hydrometrické vrtule má svá pravidla dle ČSN EN ISO 748. Principem metody je měření rychlosti a plochy příčného průřezu koryta. Správný výběr místa pro hydrometrování (platí pro přírodní koryta) snižuje nejistotu měření. Profil pro hydrometrování by měl být dostatečně hluboký, uprostřed přímé volné trati, pravidelný, bez překážek (kameny, vegetace atd.). Délka přímé trati by měla být alespoň 3 až 7 šířek koryta v hladině, ideálně 5 šířek nad a 2 šířky pod měrným profilem. Měrný profil má být kolmý na směr proudění a voda má proudit celým profilem s co možná pravidelným rychlostním profilem. Optimální je provádět měření za setrvalého vodního stavu. Pro měření při výrazně neustáleném proudění (průchod povodňové vlny) lze měřit v omezeném počtu svislic a bodů (často i jen povrchových rychlostí).

Hydrometrování probíhá v celém profilu toku, který je rozdělen jednotlivými svislicemi. Na těch je vždy zaznamenána hloubka. Počet svislic by měl být stanoven podle následující tabulky (ISO 748) s ohledem na šířku toku.

Aktuální měření

Kalibrace

Výpis protokolů

Protokol: 05038

Pozice: 2

Majitel: VUV T.G.M., Podbabska 30, Praha 6, 162 00

Výrobce: OTT-C2

Tělo: 185849

Propeler: 3-186252

Upevnění: Na tyči

Datum měření: 28.2.2005

Jméno měřícího: Ramesova

Rychlost	Impulzy	Dráha	Čas
0,050	20	11,614	232,658
0,100	20	6,318	63,125
0,200	50	14,122	70,500
0,300	50	13,422	44,826
0,400	200	53,550	133,719
0,600	200	51,104	85,258
0,800	200	52,341	65,466
1,000	200	51,101	51,133
1,200	200	51,921	43,263
1,400	200	51,161	36,530
1,600	200	51,636	32,326
1,800	200	51,018	28,384
2,000	200	51,431	25,758
2,200	200	51,040	23,212
2,400	200	51,324	21,402
2,600	200	50,900	19,593
2,800	200	51,212	18,295

Zobrazit protokoly:

Všechny

Číslo protokolu:

05038

Počet měření v tomto protokolu:

22

Obr. 4.11: Tabulka zadáných hodnot (rychlost a impulzy) a naměřených hodnot (dráha a čas) z kalibračního programu VELÍN.

šířka koryta	< 0,5 m	n = 5 až 6
šířka koryta	> 0,5 m a < 1 m	n = 6 až 7
šířka koryta	> 1 m a < 3 m	n = 7 až 12
šířka koryta	> 3 m a < 5 m	n = 13 až 16
šířka koryta	> 5 m	n ≥ 22

Existují tři základní metody stanovení průměrné rychlosti na svislici.

- **Metoda rychlostního pole** – hodnoty rychlosti se získají měřením v několika bodech na každé svislici mezi hladinou a dnem koryta. Počet a rozmístění bodů se volí tak, aby bylo přesně určeno rozdělení rychlostí na každé svislici s rozdíly čtení mezi dvěma přiléhajícími body ne většími než 20 % ve vztahu k vyšší hodnotě. Naměřené rychlosti v každé poloze se vynesou do diagramu, měrný průtok nebo průměrná rychlost se stanoví planimetrem, digitalizátorem nebo ekvivalentní metodou.

- **Redukované bodové metody** – jsou méně přesné, protože nevyužívají celé rychlostní pole.

- » **Jednobodová metoda** – měření rychlosti je prováděno na každé svislici v 0,6násobku hloubky od hladiny. Naměřená hodnota se považuje za průměrnou rychlost na svislici.
- » **Dvoubodová metoda** – měření je prováděno v 0,2 a 0,8násobku hloubky od hladiny.
- » **Třibodová metoda** – měření je prováděno na každé svislici v 0,2, 0,6 a 0,8násobku hloubky od hladiny a co nejbližší ke dnu. Lze uvážit měření v 0,6násobku hloubky a průměrná rychlost se získá z rovnice:

$$v = 0,25(v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})$$

- » **Pětibodová metoda** – měření rychlosti je prováděno na každé svislici v 0,2, 0,6 a 0,8násobku hloubky od hladiny a co nejbližší k hladině a dnu. Průměrná rychlost smí být vypočtena z rovnice:

$$v = 0,1(v_{\text{hladiny}} + 3v_{0,2} + 3v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{dna}})$$

- » **Šestibodová metoda** – měření rychlosti je prováděno na každé svislici v 0,2, 0,4, 0,6, a 0,8násobku hloubky od hladiny a co nejbližší hladině a dnu. Průměrná rychlost smí být vypočtena z rovnice:

$$v = 0,1(v_{\text{hladiny}} + 3v_{0,2} + 3v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{dna}})$$

- » **Hladinová jednobodová metoda** – tato metoda se používá při nestandardních podmínkách (povodně, náhlé změny výšky hladiny) a tam, kde nejsou ostatní metody prakticky proveditelné. Rychlost je měřena v jednom bodě těsně pod hladinou. Takto změřená rychlost smí být převedena na průměrnou rychlost na svislici násobením předem stanoveným součinitelem pro profil a průtok. Součinitel se obecně mění mezi 0,84 a 0,90 v závislosti na tvaru rychlostního profilu.

- **Integrační metoda** – vrtule se spouští a vytahuje přes celou hloubku každé svislice stejnou rychlostí. Rychlost, se kterou je měřidlo spouštěno a vytahováno nemá být větší než

5 % průměrné rychlosti vody a neměla by překročit 0,04 m/s. Na každé svislici by měly být provedeny dva úplné cykly. Liší-li se výsledky o více než 10 % (z obou cyklů), má se celý proces opakovat.

4.4.2 Plováková metoda

Tuto metodu nelze používat pro úřední měření, ale lze ji dobře využít v obtížných podmínkách a s omezeným vybavením. Volí se přímá trať s co možná rovnoměrným prouděním a rovnoměrným rozdělením rychlostí. Délka měrné trati L má být u širokých toků zhruba $L = 2B$ kde B je šířka toku v hladině, resp. taková, aby doba průchodu plováku měrným úsekem nebyla kratší než ca 20 s. U malých toků se volí přiměřeně delší, $L = (2 \text{ až } 5)B$. Na břehu se zaměří měrný úsek a kolmo k toku vytyčí měrné profily na začátku, konci a ve středu měrného úseku. Střední profil se prosunduje pro stanovení průtočné plochy; přesnější je prosundovat všechny tři profily a průtočnou plochu brát jako průměr.

Plováky mají být pokud možno jednotného typu (dřevěné hranolý, částečně vodou naplněné láhve, atd.) a je třeba jich připravit dostatečné množství. Plováky se vypouštějí v dostatečné vzdálenosti nad horním profilem (alespoň 10 až 15 m), aby plovák do průchodu horním profilem nabyl stejné rychlosti jako voda a bylo možné spolehlivě určit okamžik průchodu plováku prvním profilem. U toku s šířkou v hladině do 20 m se vypouští 3 až 5 plováků, u širších toků se měří rychlost v každém pátém nebo desátém metru šířky toku. Při vlastním měření měřič v prvním profilu sleduje připlouvající plovák a v okamžiku jeho průchodu profilem dá signál (akustický – píšťalkou nebo zvoláním, nebo optický) pozorovateli v dolním profilu k zahájení měření času. Při průchodu plováku druhým profilem měřič odečte čas t nutný k proplutí plováku měrnou tratí a zaznamená jej spolu s polohou plováku v toku. Poté dá signál k vypuštění dalšího plováku. V každé jednotlivé dráze se měření obvykle 2 až 3krát opakuje, při zjevném vybočení plováku z dráhy se toto měření vyloučí. Ze zbylých hodnot se pak určí výsledná rychlost jako aritmetický průměr.

4.4.3 Výpočet průtoku

Výpočet průtoku lze stanovit následujícími způsoby:

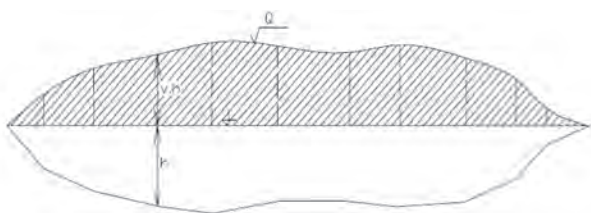
- **Grafické metody** (integrace hloubka – rychlost, tzv. Harlacherova metoda a metoda integrace rychlostního pole, tzv. Culmanova metoda, která se příliš nepoužívá)
- **Aritmetické metody** (metoda mezisvislicových pásů, metoda svislicových pásů, metoda nezávislé svislice, metoda mezisvislicových pásů pro specifický průtok)

Níže jsou stručně popsány nejběžnější metody výpočtu průtoku.

Harlacherova metoda – velmi přesná metoda vycházející ze vztahu

$$Q = \int_{x=0}^{x=B} q \, dx = \int_{x=0}^{x=B} v h \, dx$$

kde $q = v h$ [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] je elementární průtok ve svislici, v [m s^{-1}] je střední svislicová rychlost a h [m] je hloubka ve svislici. Prvotně se určí střední svislicové rychlosti, vynesou se nad grafické zobrazení příčného profilu a propojí se čarou. V dalším kroku vynášíme součiny vh v jednotlivých svislicích ve vhodném měřítku nad srovnávací rovinu (hladinu). Přitom v místech sondovacích svislic, kde byla měřena pouze hloubka, příslušné rychlosti odečítáme z čáry $v = f(B)$, čímž můžeme výsledek dále zpřesnit. Spojením koncových bodů těchto pořadnic (opět od ruky pomocí křivítka) obdržíme čáru, uzavírající s hladinou určitou plochu, jejíž velikost zobrazuje v daném měřítku přímo průtok.



Obr. 4.12: Znárodnění Harlacherovy metody

Metoda mezisvislicových pásů – průtočný profil je měřnými svislicemi rozdělen na řadu pásů. V každém pásu vy počítáme dílčí průtok ze vztahu:

$$q_i = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \frac{h_i + h_{i+1}}{2} (b_{i+1} - b_i)$$

Celkový průtok získáme sumou všech dílčích průtoků.

$$Q = \sum q_i$$

Metoda svislicových pásů – profil je opět rozdělen měřnými svislicemi na řadu pásů. Dílčí průtok vychází ze vztahu:

$$q_i = v_i h_i \frac{b_{i+1} - b_{i-1}}{2}$$

Celkový průtok získáme sumou všech dílčích průtoků.

$$Q = \sum q_i$$

Metoda nezávislé svislice – poměrně složitá metoda, používá se pro neustálené proudění. Jde o modifikaci grafické metody integrace hloubka-rychlost, ale je možné ji uplatnit při vyhodnocení průtoků, které byly zaměřeny při kolísání vodního stavu.

4.4.4 Objemová metoda

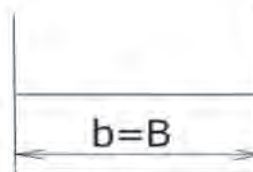
Tato přímá metoda zjištění průtoků se využívá u malých vodních toků, pramenů apod. Je založena na jímání vody do kalibrované odměrné nádoby a současném měření času stopkami. Doporučuje se používat nádoby z pevných materiálů, které nepodléhají deformaci. Přesnost měření objemu musí být alespoň 1 %. Velmi přesná metoda.

4.5 Měřicí systémy protečeného objemu vody v profilech s volnou hladinou

4.5.1 Měřicí systémy s funkční závislostí průtoků na úrovni hladiny

Měrné přelivy

Pomocí přelivů lze měřit průtok přímo objemovou metodou nebo ho lze vypočítat pomocí výšky přepadajícího paprsku. Existují dva základní typy přelivů, pravoúhlé (Bazinův, Ponceletův) a trojúhelníkové (Thomsonův).

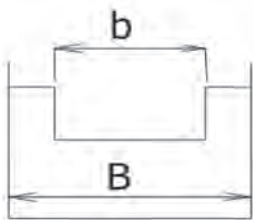


Obr. 4.13:

• Bazinův přeliv

Je obdélníkového tvaru bez boční kontrakce. Pro stanovení průtoků pravoúhlým přelivem se platí vztah:

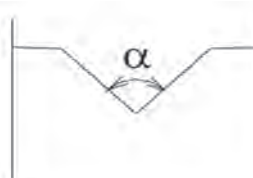
$$Q = mb\sqrt{2gh} \frac{3}{2}$$



Obr. 4.14:

• Ponceletův přeliv

Jeho výřez je tvaru obdélníku s boční kontrakcí. S lineárně rostoucí přepadovou výškou roste lineárně průtočná plocha.



Obr. 4.15:

• Thomsonův přeliv

Voda protéká trojúhelníkovým výřezem přelivu a hladina převyšuje nejnižší bod výřezu o tzv. přepadovou výšku h . S lineárně rostoucí přepadovou výškou roste kvadraticky průtočná plocha.

Pro stanovení průtoků platí vztah:

$$Q = 1/4h \frac{5}{2}$$

Úhel $\alpha = 90^\circ$, h = přepadová výška.

Měrné žlaby

Jejich použití je vhodné pro měření průtoků na tocích o malém sklonu. Oblíbené jsou rovněž u čistíček odpadních vod nebo u závlahových systémů. Nejrozšířenějším typem je

• Venturiho žlab

Pro konstrukci měrného zařízení se vyžaduje, aby průtočný profil byl zúžen ze stran. Výpočet průtoků vyplývá ze vztahu:

$$Q = K \cdot b \cdot h^n$$

kde

K je tabelovaná hodnota závislá na typu a rozměrech žlabu, b [m] je šířka hrdla žlabu, h [m] je výška vody nad prahem žlabu,

$n = 1,5$ (exponent platný pro Venturiho žlab).

Měření hloubky na přelivu se dle typových podkladů umísťuje do značné vzdálenosti před žlab, vyhovuje snímání hloubky již ve vzdálenosti $3h$ (trojnásobek přepadové hloubky). Tento typ žlabu je bez hrdla a chování proudnic není tak stabilní, jako u žlabu s hrdlem.

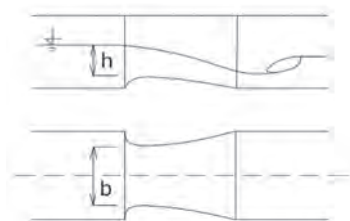
- Parshallův žlab

Přepadová hloubka se měří již v zužujícím se profilu, kde dochází ke zvýšení rychlosti a proudnice díky tvaru zúžení a blízkosti skluzu v hrdle jsou stabilnější. Tento typ je ale citlivý na změnu hloubky. Pro výpočet průtoku platí vztah:

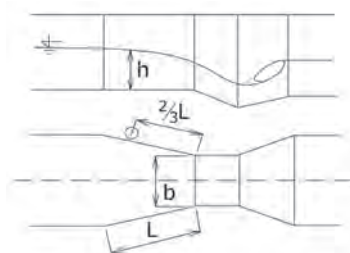
$$Q = a \cdot h^b$$

a, b parametry dané konkrétním měrným žlabem (b se u každého Parshallova žlabu blíží hodnotě 1,5)

h [m] je hloubka vody měřená ve vzdálenosti B' [cm] před hrdlem (tabelovaná hodnota podle konkrétního žlabu)



Obr. 4.16:
Venturiho žlab



Obr. 4.17:
Parshallův žlab

Reference

- [4.1] CAESPERLEIN, A.: Historical Development of Hydrometry. In: Symposium in the Tercenary of Hydrology. UNESCO, Paris 9.-12. sept. 1974, str. 54-63 <http://www.cig.enscm.fr/~hydro/BIB/UNESCO/3siecles006.pdf>
- [4.2] KRÍŽ, V. a kol.: Měření průtoků. Hydrometeorologický ústav, Praha 1979.
- [4.3] MATTAS, D., RAMEŠOVÁ, L.: Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí. Nežádoucí jevy v procesu kalibrace a jejich eliminace. VÚV TGM, 2010.
- [4.4] MATTAS, D.: Hydrometrické vrtule a měření s nimi. http://cksvv.vuv.cz/files/pdf/cksvv/cksvv_ke_staze-ni_hydrometrie_mattas_2013.pdf
- [4.5] MATTAS, D.: Měření průtoků nestandardními metodami a v nestandardních podmínkách. VÚV TGM, 1998.
- [4.6] MATTAS, D.: Praktické cvičení z hydrologie. ČVUT Praha, 2001.
- [4.7] POLÁKOVÁ, K.: Příručka kvality České kalibrační stanice vodoměrných vrtulí. VÚV TGM, 2015.
- [4.8] SOTORNÍK, V.: Cejchování hydrometrických vrtulí. Vodní hospodářství 8/1975, řada A, str. 220-223
- [4.9] <http://www.ott.com/>
- [4.10] <http://www.pars-aqua.cz/>
- [4.11] BOS, M. G. (ed.): Discharge Measurement Structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen 1989.
- [4.12] Flow Measurement Methods in Open Channels. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Booklet 7, May 2007.

4.6 Normativní dokumenty

MĚŘICÍ SYSTÉMY PROTEČENÉHO OBJEMU VODY V PROFILECH S VOLNOU HLADINOU		
PŘEDPISY PRO MĚŘICÍ SYSTÉMY	PŘEDPISY PRO ETALONY	PŘEDPISY PRO ÚŘEDNÍ MĚŘENÍ
TNV 25 9305 Měřicí systémy proteklého objemu vody v profilech s volnou hladinou ČSN EN ISO 772:2012 Hydrometrická měření – Terminologie ČSN EN ISO 18365:2014 Hydrometrie – Výběr, zřízení a provoz vodoměrných stanic	ČSN EN ISO 748 Hydrometrie – Měření průtoku kapalin v otevřených korytech použitím vodoměrných vrtulí a plováků ČSN ISO 2537 Měření průtoku kapalin v otevřených korytech. Vodoměrné vrtule s rotačním prvkem ČSN ISO 3455 Měření průtoku kapalin v otevřených korytech. Kalibrace vodoměrných vrtulí s rotačním prvkem v přímých otevřených nádržích ČSN EN ISO 8316 Měření průtoku kapalin v uzavřených profilech – Metoda jímání kapaliny do odměrné nádrže	Metrologický předpis ČMI MP 010:2013 Úřední měření průtoku vody v prizmatických profilech s volnou hladinou. Provádění úředního měření metodou hydrometrování a metodou objemovou

Poznámka:

Subjekty autorizované k výkonu úředního měření jsou uvedeny na stránce: http://www.unmz.cz/urad/data_ams_2.asp?cd=816&typ=r&trideni=&start=1

5. METROLOGIE PRŮTOKU A PROTEČENÉHO MNOŽSTVÍ KAPALIN JINÝCH NEŽ VODA

5.1 Vývoj metrologie průtoku kapalin jiných než voda

Historie legální metrologie na území České republiky v oblasti průtoku kapalin jiných než voda sahá až do období přijetí metrické právní úpravy v Rakousku-Uhersku. Koncem 19. století to byly právní předpisy pro technické kapaliny a požívatin:

- ministerské nařízení č. 33/1875 ř. z. o přecejchování a kolování měřicích přístrojů na petrolej a jiné tekutiny, které podléhají silnému vypařování;
- vyhláška ministerstva obchodu č. 107/1879 ř. z. o připuštění k úřednímu cejchování měřidel na mléko;
- vyhláška ministerstva obchodu č. 35/1892 ř. z. o připuštění k úřednímu cejchování pivních kohoutů.

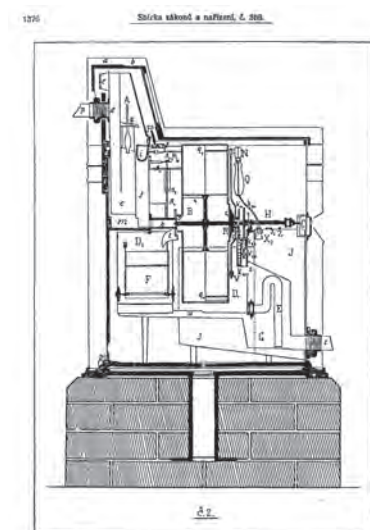


Obr. 5.1: Nařízení vlády republiky Československé 306/1922 Sb.

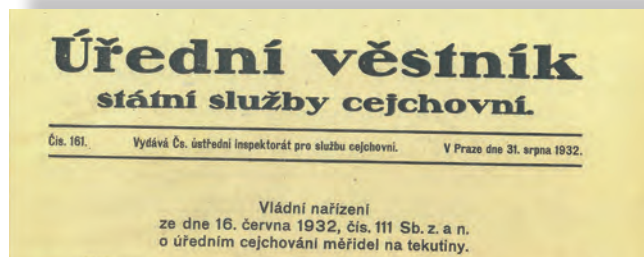
V současnosti vycházejí formou nařízení vlády směrnice Evropské unie. Je zajímavé ohlédnout se do minulosti, na první čtvrtinu 20. století, kdy se nařízením vlády ustanovovaly podmínky schválení typu pro některé druhy měřidel. Stát detailně dohlížel na úřední ověřování například bubnových lihových měřidel. Za první ČSR bylo prvním takovým typem lihové měřidlo podle nařízení vlády republiky Československé

306/1922 Sb., jímž se za působnosti zákona o dani z lihu ze dne 20. června 1888, č. 95 ř. z., případně uherského zákonu článku XX ex 1899 a XXVIII ex 1908 připouští k úřednímu zjišťování alkoholu, vyrobeného v lihovarech, lihové měřidlo soustavy Fučíkovského a vyhláše se jeho popis s návodem k použití. Nařízení vlády zrušilo vynesení bývalého rakouského

ministerstva financí z 19. srpna 1911,



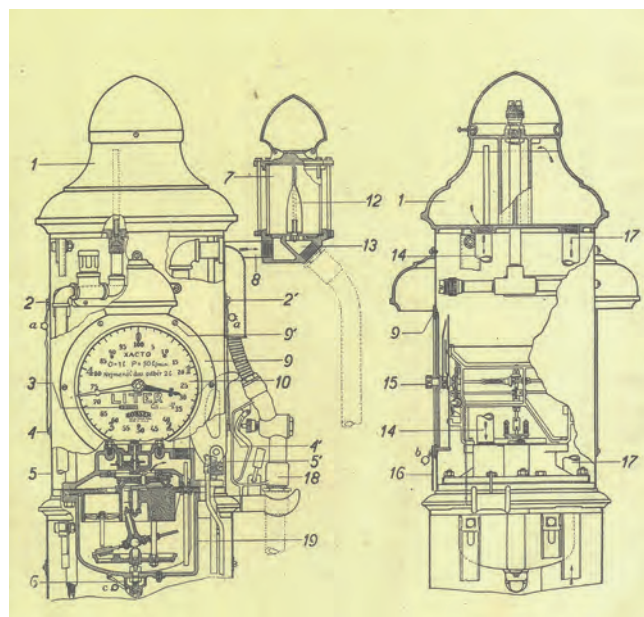
Obr. 5.2: Lihové měřidlo (bubnové měřidlo protečeného objemu) soustavy Fučíkovského



Obr. 5.3: Vládní nařízení č. 111/1932 Sb. z. a n. o úředním cejchování měřidel na tekutiny

č. 61.437, č. 175 ř. z., týkající se doplnění, případně částečně změny popisu ke kontrolnímu měřidlu soustavy Dolainského.

V roce 1932 byly dosavadní rakousko-uherské předpisy nahrazeny vládním nařízením č. 111/1932 Sb. z. a n. o úředním cejchování měřidel na tekutiny.



Obr. 5.4: Měřidlo staniční typu «Xacto-B» (výdejní stojan na benzín), schválené podle vládního nařízení č. 111/1932.

Po roce 1945 byly průtokoměry na kapaliny jiné než voda součástí všech vyhlášek a výnosů o metrologické kontrole měřidel. Druhy a typy měřidel držely krok s vývojem vědy i s technologickým pokrokem. Do roku 1990 tvořily převážnou většinu těchto měřidel měřidla protečeného objemu technických kapalin českých výrobců.

5.2 Metrologická návaznost

Pro lepší orientaci a asi poprvé v historii je zmapována návaznost etalonů a měřidel v oblasti kapalin jiných než voda, která zachycuje současný stav v České republice. Viz obr. 5.5.

5.3 Primární a státní etalony

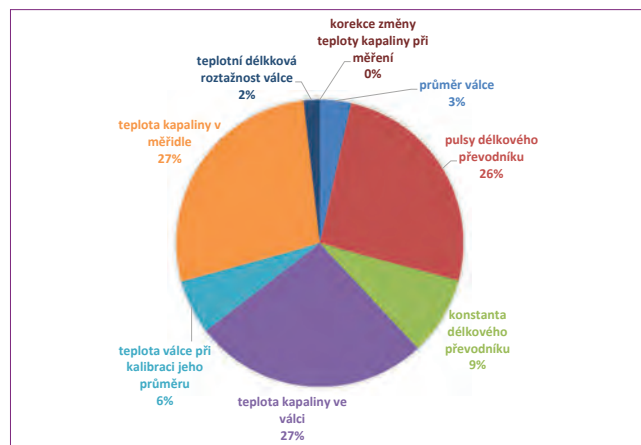
5.3.1 Laboratoř průtoku technických kapalin ČMI OI Brno

Pístový etalon průtoku kapalin Flow Dynamics (FDI) pracuje na principu dynamické objemové metody s letným startem. Jednotka průtoku je realizována na základě definiční metody, kdy se přímo měří protečené množství kapaliny za časovou jednotku. Měření objemu je realizováno měřením vzdálenosti, kterou urazí píst ve válci se známou hodnotou

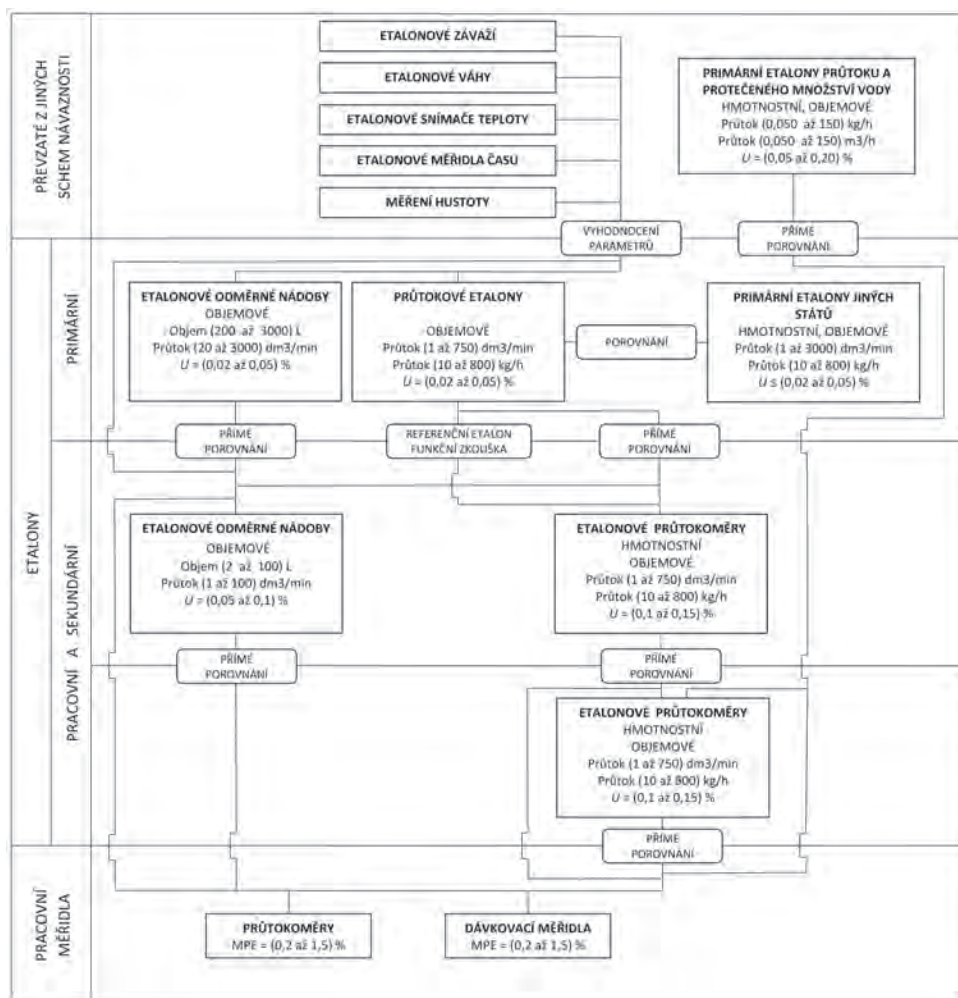


Obr. 5.6: Pístový etalonu průtoku kapalin Flow Dynamics

plochy průřezu. Objem kapaliny vytlačené pohybem pístu je roven součinu plochy průřezu válce a vzdálenosti, kterou píst ve válci urazil. Píst se do pohybu uvádí stlačením vzduchem. Velikost průtoku je nastavována pomocí tří elektricky ovládaných škrtících ventilů. Pro stanovení objemu kapaliny skutečně protečené přes zkoušené měřidlo jsou prováděny korekce vlivu tlaku uvnitř systému a vlivu rozdílné teploty kapaliny ve válci a ve zkoušeném měřidle.



Obr. 5.7: Balance nejistoty měření etalonu Flow Dynamics



Obr. 5.5: Schéma návaznosti měřidel průtoku a protečeného množství kapalin jiných než voda

Tento pístový etalon průtoku je určen ke kalibraci různých typů průtokoměrů (turbínových, objemových, hmotnostních, atd.) kapalinami s širokým rozsahem hodnot hustoty a viskozity. Požadovaných hodnot pro dané měření je u těchto veličin (hustota, viskozita) v praxi dosaženo smícháním různých technických kapalin (např. technického benzínu a oleje) v potřebném poměru. Výhodou zařízení je relativně malý objem kapaliny uvnitř celého zařízení, díky čemuž lze ve skladu uchovávat několik druhů kapaliny s různými fyzikálními vlastnostmi bez enormních nároků na skladovací kapacitu. Navíc u malého objemu kapaliny lze také snadno nastavovat její teplotu, nicméně měřením při jiné teplotě kapaliny a okolí se zvyšuje nejistota měření. Kalibrace průtokoměrů se provádí kapalinou s fyzikálními vlastnostmi blízkými kapalině, pro jejíž měření je kalibrován průtokoměr určen.

Základní rozsah a technické údaje:

Měřicí rozsah:	(1 až 1000) dm ³ /min
Měřená kapalina:	směs technického benzínu a oleje
Hustota kapaliny:	(500 až 1000) kg/m ³

Viskozita kapaliny:	(1 až 400) mm ² /s
Připojení zkoušených měřidel:	až DN 60
Maximální pracovní tlak:	10 bar
Teplota vody:	(10 až 60) °C
Metoda měření:	Objemová s pístem o objemu 60 dm ³ letmým a pevným startem
U (k=2)	0,1 %

5.3.2 Pístový etalon průtoku v mobilním provedení Brooks Compact Prover

Mobilní pístový etalon průtoku BROOKS COMPACT PROVER (BCP) se používá pro kalibrace průtokoměrů v rafineriích, na produktovodech, a předávacích stanicích. Umožňuje dynamické měření za provozních podmínek, bez přerušení měření. Umožňuje také měření různých kapalin např. ropu, oleje, kapalná paliva či LPG.

Etalon pracuje na principu přímého porovnání objemu měřicího pístu s údajem zkoušeného průtokoměru za stejnou časovou jednotku. Etalon je dále vybaven kontinuálním měřením teploty, tlaku a hustoty měřeného média. Celý proces měření je plně automatický a řízený jednoúčelovým počítačem OMNI 3000. Celé zařízení je v nevýbušném provedení a měření může být realizováno v prostředí s možným výskytem výbušných plynů.

Základní rozsah a technické údaje:

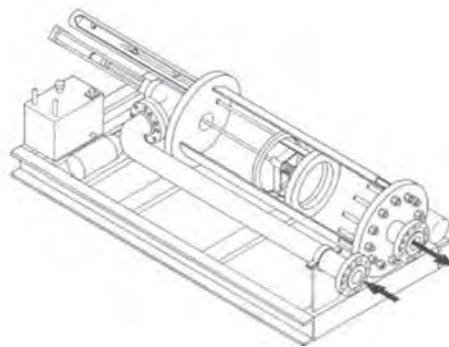
Měřicí rozsah:	(4 až 400) m ³ /h
Měřená kapalina:	Ropa, oleje, kapalná paliva, LPG
Rozsah hustoty:	(600 až 1100) kg/m ³
Připojení zkoušených měřidel:	DN 150 PN 40, DN 100 PN 16, DN 80 PN 16
Maximální pracovní tlak:	10 MPa
Teplota vody:	(-25 až 85) °C
Metoda měření:	Objemová letmým startem
U (k=2)	0,1 %



Obr. 5.8: Pístový etalon průtoku Brooks Compact Prover

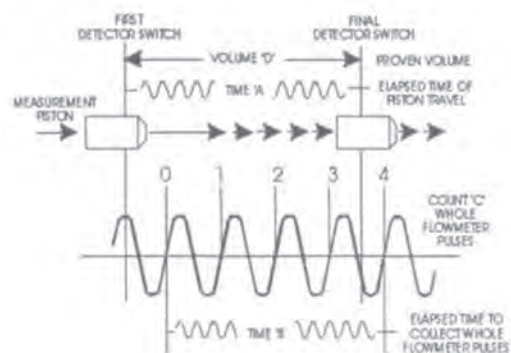
5.3.3 Metoda měření pístového etalonu průtoku (Small Volume Prover)

Před měřením je píst s talířovým ventilem udržován ve výchozí pozici „upstream“ tlakem kapaliny v hydraulickém řídicím okruhu. Talířový ventil je v otevřené pozici, což umožňuje, aby kapalina kontinuálně protékala měřicím válcem. Na začátku měřicího cyklu se otevřením ventilu uvolní tlak v řídicím válci. Tlak měřené kapaliny spolu s tlakem dusíku ze zásobníků uzavrou talířový ventil a píst je unášen do pozice „downstream“. Měřicí píst je spojen s tyčí s kovovým indikátorem polohy. Indikátor polohy aktivuje optické snímače pružinou přitlačené k invarové tyči s minimální teplotní roztažností. Poloha optických snímačů přesně definuje délku měřicího válce s kalibrovaným objemem.



Obr. 5.9: Schéma pístového etalonu průtoku Brooks Compact Prover

Při vlastním měření je píst unášen průtokem, indikátor polohy projde prvním optickým snímačem a na základě jeho signálu elektronika začne počítat impulzy ze zkoušeného měřidla. Když indikátor polohy prochází druhým optickým snímačem, elektronika přestane impulzy přičítat. Zúžení vnitřního průměru řídicího válce omezí pohyb měřicího pístu a otevře talířový ventil než píst dosáhne konec měřicí komory. Pro případ chyby jsou na konci měřicí komory instalovány dorazy, které mechanicky otevrou talířový ventil. Tlakem kapaliny v hydraulickém řídicím okruhu je píst znovu natažen do výchozí polohy. Celé měření probíhá automaticky bez přerušení průtoku. Počet měřicích cyklů (pass / runs), které mají být provedeny, může být zvolen operátorem, je řízen elektronikou s automatickým vyhodnocením celého měření.



Obr. 5.10: Princip interpolace „Double chronometry method“

Počet impulsů je stanoven matematickou interpolací „Double chronometry method“ na základě měření dvojího

času pomocí vysokofrekvenčního oscilátoru. Čas „A“ je měřen od okamžiku kdy praporek dosáhne prvního optického snímače. Čas „B“ je měřen s náběhovou hranou prvního přichozího impulsu po spuštění měření času „A“. Čítač „A“ je zastaven, když praporek dosáhne druhého optického snímače. Čítač „B“ je zastaven s náběhovou hranou dalšího přichozího impulsu po zastavení čítače „A“. Pomocí poměru času „A“ a „B“ je přesně dopočítán začátek prvního a konec posledního impulsu podle vztahu:

$$MP = \frac{Cas "A"}{Cas "B"} \times NP$$

kde: MP je přesný počet impulsů ze zkoušeného měřidla
 NP počet celých impulsů během měření času „B“

Vzhledem k relativně krátkým časům měření je možné měření vícekrát opakovat, běžně se provádí 25 měření v každém průtoku. Z jednotlivých měření je stanovena průměrná hodnota impulsů AMP a opakovatelnost měření. Při kalibraci hmotnostních průtokoměrů se běžně dosahuje opakovatelnosti (0,01 až 0,03) %.

Vlastním výsledkem měření při kalibraci měřicích systémů je závislost konstanty měřidla KF tzv. K-faktoru na velikosti průtoku. Konstanta měřidla K-faktor udává počet impulsů odpovídajících proteklému objemu 1 litru v jednotkách L^{-1} při referenční teplotě 15 °C a je stanovena podle vztahu:

$$K_F = \frac{MP}{BPV \times CTSP \times CPSP},$$

kde: BPV je základní objem měřicího pístu při referenční teplotě 15 °C,
 $CTSP$ korekční součinitel teplotní objemové roztažnosti pístu a invarové tyče,
 $CPSP$ korekční součinitel tlakové roztažnosti pístu.

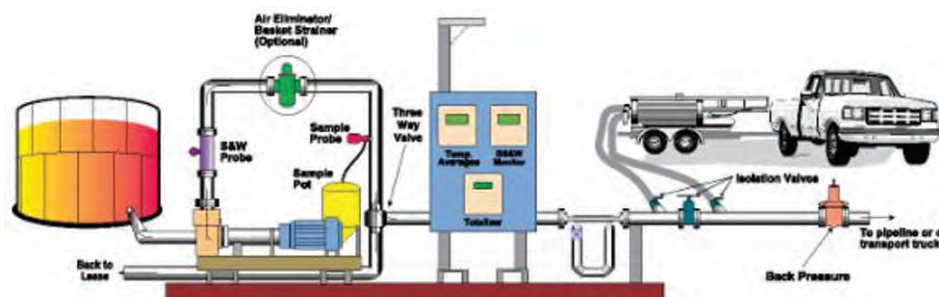
Korekční součinitel teplotní objemové roztažnosti pístu a invarové tyče je stanoven podle vztahu:

$$CTSP = \left[1 + 2\alpha_{STL} (t_{PRV} - t_0) \right] \times \left[1 + \alpha_{INV} (t_{AMB} - t_0) \right],$$

kde: t_{BCP} je teplota kapaliny v měřicím pístu,
 t_{AMB} okolní teplota (teplota invarové tyče),
 t_0 referenční teplota měřicího pístu a invarové tyče (15 °C),
 α_{STL} součinitel teplotní délkové roztažnosti oceli ($1,08E-5$ °C⁻¹),
 α_{INV} součinitel teplotní délkové roztažnosti invarové tyče ($1,44E-6$ °C⁻¹).

Korekční součinitel tlakové roztažnosti pístu je stanoven podle vztahu:

$$CPSP = 1 + \frac{p_{PRV} \times D}{E \times T},$$



Obr. 5.12: Zapojení etalonu Brooks Compact Prover při kalibraci na místě instalace.

kde: p_{PRV} je tlak měřicího pístu,
 D vnitřní průměr měřicího pístu (311,15 mm),
 E modul pružnosti oceli (195,5 GPa)
 T tloušťka stěny měřicího pístu (22,225 mm)

Při zkoušce přesnosti celého systému na místě instalace jsou naměřeny skutečné hodnoty dosahované měřicím systémem za daných podmínek měření (skutečné medium, pracovní teplota a tlak, instalační efekty). Navíc je prověřena správná funkce přepočítávacího zařízení v reálném čase.

5.3.4 Skupinový státní etalon průtoku a proteklého množství kapalin jiných než voda

Tento skupinový státní etalon byl vyhlášen roku 2007 a je tvořen pístovými etalony průtoku Flow Dynamics a BCP, které byly popsány výše.

5.3.5 Nový pístový etalon pro průtokoměry pro kapaliny jiné než voda.

V roce 2015 byl do provozu uveden nový pístový etalon průtoku v mobilním provedení, který slouží jako primární etalon průtoku kapalin jiných než voda. Jeho uvedení do provozu zvýšilo hranici rozsahu průtoku pro zkoušky průtokoměrů v místě instalace prováděné pomocí pístového etalonu průtoku v mobilním provedení ze 400 m³/h na hodnotu 750 m³/h. Zároveň, díky konstrukci etalonu využívající možnost měření pomocí trojice optických čidel, která v měřicím pístu vymezují tři objemy o odlišných velikostech, umožňuje zkrátit dobu měření v oblasti malých průtoků a tím měření zefektivnit oproti etalonu BCP.

Pístový etalon je určen pro kalibraci a ověřování objemových i hmotnostních průtokoměrů v místě instalace například na produktovodech a ropovodech, výdejních lávkách a také k zabezpečení návaznosti etalonů pro ověřování měřidel proteklého množství LPG. Mobilita zařízení je zajištěna instalací etalonu na přívěs. Celková hmotnost přívěsu včetně etalonu je přibližně 6 t. Vyhodnocení signálů z etalonu a zkoušeného měřidla a ovládání etalonu je prováděno pomocí flowcompu OMNI 6000.

Technické parametry pístového etalonu jsou následující:

Základní rozsah a technické údaje:

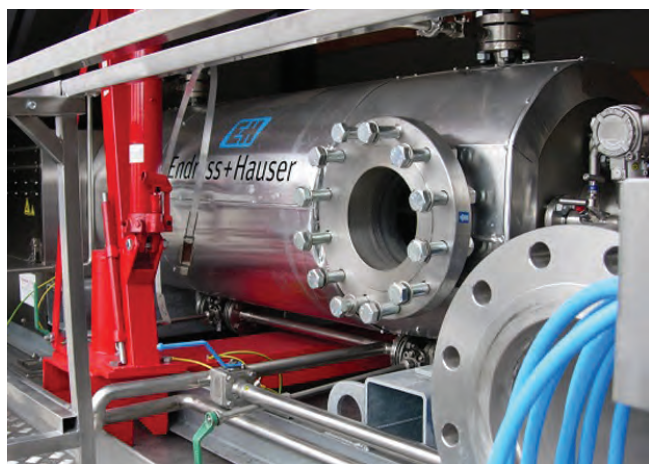
Měřicí rozsah:	6 dm ³ /min až 750 m ³ /h
Měřená kapalina:	Ropa, oleje, kapalná paliva, LPG
Rozsah hustoty:	(500 až 1200) kg/m ³

Připojení zkoušených měřidel:	DN 150 PN 40, DN 100 PN 16, DN 80 PN 16
Maximální pracovní tlak:	5 MPa
Teplota vody:	(0 až 80) °C
Metoda měření:	Objemová letným startem
U (k=2)	0,05 %

Konstrukce zařízení je provedena kompletně z nerezové oceli včetně připojovacích potrubí a filtru nečistot. V připojovacím potrubí je také instalován bypass s hustoměrem pro realizaci měření hmotnostního průtoku a s oběhovým čerpadlem pro zajištění pracovních podmínek hustoměru (zejména odpovídajícího průtoku).

Celé zařízení bylo rovněž certifikováno pro provoz ve výbušném prostředí (ATEX).

Nejistota kalibrací je obdobná hodnotám nejistot dosahovaných pomocí etalonu BCP.



Obr. 5.12: Detailní pohled na pístový etalon



Obr. 5.13: Pohled na celou mobilní sestavu

5.3.6 Sada etalonových odměrných nádob WILLIG

Sada etalonových odměrných nádob WILLIG o objemech VN (200,500 a 1500/3000) dm³ se sběrnou nádrží, vlastním čerpadlem a možností připojení na systém rekuperace par v pojízdném provedení slouží jako primární etalon průtoku kapalin jiných než voda. Zařízení je určeno pro kalibrace a ověřování měřicích systémů výdejních lávek pohonných hmot, silničních cisteren pro přepravu kapalných

pohonných hmot a cisteren na tankování letadel a také pro zkoušení výdejních měřicích systémů na silničních cisternách s elektronickými hladinoměry.

Pro zkoušky snímačů teploty jako součásti měřicího řetězce je možno použít také transportní kalibrační pícku s etalonem teploty.



Obr. 5.14: Sada etalonových odměrných nádob WILLIG

Základní rozsah a technické údaje:

Měřicí rozsah:	(20 až 3000) dm ³ /min
Měřená kapalina:	Kapalná paliva (benzín, nafta motorová, lehký topný olej, letecký petrolej)
Připojení zkoušených měřidel:	Rekuperace – GOSSLER DN 80 PN 16 Spodní plnění – GOSSLER DN 80 PN 16 – redukce DN 50 a 100 (MK, VK) – suchá spojka API (2x) + adaptér API Horní plnění – GOSSLER DN 50 PN 16 – redukce DN 80 a 100 (MK, VK) – volný prostor
Tlak zpětného čerpání:	0,25 MPa
Teplota vody:	(-25 až 85) °C
Metoda měření:	Objemová pevným startem
U (k = 2)	0,05 %

5.4 Sekundární etalony

5.4.1 Sekundární etalony ČMI

Sekundární etalony ČMI pro oblast kapalin jiných než voda lze rozdělit na tři kategorie:

- I. Odměrné nádoby - krychloměry
- II. Objemové průtokoměry
- III. Hmotnostní průtokoměry na principu Coriolisovy síly

Do první kategorie patří mobilní odměrné nádoby používané pro následující činnosti:

- 1) ověřování výdejních stojanů pro kapalná paliva,
- 2) zkoušení cisteren na mléko,
- 3) zkoušení cisteren na AdBlue.



Obr. 5.15: Odměrná nádoba s přepadem 1000 L pro zkoušení cisteren na mléko

Hmotnostní průtokoměry ze třetí kategorie jsou používány zejména k následujícím činnostem:

- zkoušení cisteren pro LPG,
- zkoušení cisteren pro kryogenní kapaliny,
- ověřování hmotnostních průtokoměrů na plnících PB lahví,
- dohled nad AMS – funkční zkoušky a porovnání – jako referenční měřidlo.

Návaznost hmotnostních průtokoměrů je prováděna pomocí etalonů průtoků a proteklého množství vody.



Obr. 5.16: Sestava s hmotnostním průtokoměrem pro zkoušení cisteren na kryogenní kapaliny

5.4.2 Sekundární etalony mimo ČMI

Pro ověřování měřidel protečeného množství technických kapalin v ČR autorizoval Úřad pro normalizaci a státní zkušebnictví celkem 5 subjektů jako Autorizovaná metrologická střediska (AMS).

Dále bylo třem subjektům působícím v České republice prostřednictvím modulu D, jehož realizaci zajišťoval Český

metrologický institut z pozice oznámeného subjektu, uděleno oprávnění k uvádění na trh měřicích systémů pro kontinuální a dynamické měření množství kapalin jiných než voda.

Jednotlivé laboratoře provozují etalonážní zařízení na úrovni sekundárních etalonů, které jsou ve většině případů navázány na výše uvedené primární etalony kromě případů návaznosti dle jiných schémat (např. návaznost pomocí hmotnosti atp.).

5.5 Mezinárodní a vnitrostátní porovnání etalonů

5.5.1 Mezinárodní porovnání

Primární etalony Flow Dynamics a BCP, které tvoří skupinový státní etalon průtoků a protečeného množství kapalin jiných než voda, se účastnily následujících mezinárodních porovnání:

Flow Dynamics

2005 – Dvoustranné porovnání s BEV, Vídeň, Rakousko

2008 – EURAMET PROJECT No.1020

2013 – DUNAMET PROJECT No. D52

Brooks Compact Prover

1997 – dvoustranné porovnání se SMÚ, Bratislava, SR

1998 – dvoustranné porovnání s Nmi Van Swinden Laboratorium B. V., Dordrecht, NL

2002 – dvoustranné porovnání s BEV, Vídeň, Rakousko

2005 – EUROMET PROJECT No. 831

Oba výše uvedené etalony jsou začleněny v KCDB s hodnotou CMC 0,1 %.

5.5.2 DUNAMET PROJECT No. D52

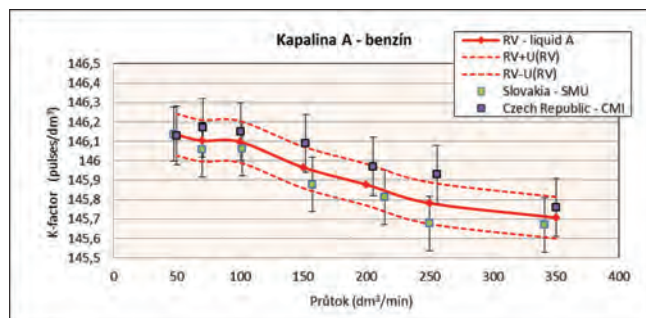
Náplní tohoto projektu bylo mezinárodní porovnání v oblasti měření průtoků kapalin jiných než voda. Na projektu se původně podíleli tři účastníci a to ČMI (Česká republika), SMU (Slovenská republika) a BEV (Rakousko). V průběhu projektu od něj však BEV odstoupil, takže výsledkem je dvoustranné mezinárodní porovnání mezi ČMI a SMU.

Porovnávací zkoušky se prováděly prostřednictvím lamelového objemového průtokoměru, který sloužil také jako pracovní etalon SMU. Měření se prováděla pomocí dvou kapalin s odlišnou hustotou a viskozitou, konkrétně se jednalo o benzin a kapalinu s obdobnými vlastnostmi jako motorová nafta.

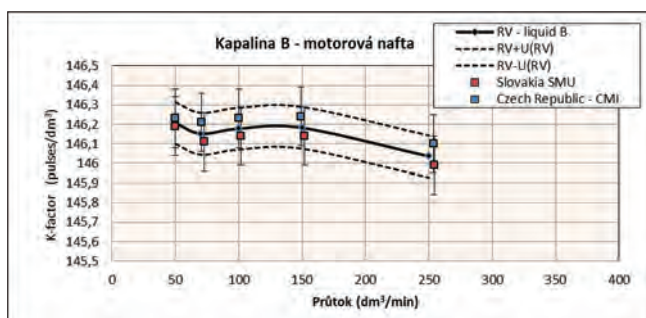
Výsledky porovnávacích zkoušek ukazují následující tabulky a grafy:

Průtok (dm ³ /min)	50	70	100	150	200	250	350
Kapalina A – benzin	0,42	1,16	0,73	0,97	0,41	0,52	0,03
Kapalina B – motorová nafta	0,18	0,46	0,41	0,46	-	0,51	-

Tabulka obsahuje stupně ekvivalence (E_n) k referenčním hodnotám porovnání pro Českou republiku



Obr. 5.17: Referenční hodnoty (RV) a výsledky měření laboratoří včetně nejistot pro kapalinu A



Obr. 5.18: Referenční hodnoty (RV) a výsledky měření laboratoří včetně nejistot pro kapalinu B

5.5.3 Vnitrostátní porovnání

Vnitrostátní porovnání se provádí zejména jako dvoustranné mezilaboratorní porovnání zkoušek, jehož účastníky jsou zpravidla autorizované metrologické středisko (AMS) nebo subjekt oprávněný k uvádění měřidel na trh prostřednictvím modulu D a Český metrologický institut ve funkci referenční laboratoře.

Pro tato porovnání je zpravidla využít některý z výše uvedených primárních etalonů.

5.6. Průtokoměry podléhající metrologické kontrole a kalibraci

5.6.1 Měřicí systém

Dle doporučení OIML R117-1:2007, samotný průtokoměr není měřicím systémem, přičemž minimální konfigurace měřicího systému zahrnuje:

- Průtokoměr
- Bod přenosu (místo, za kterým se kapalina považuje za vydanou nebo přijatou)
- Hydraulickou trasu s danými vlastnostmi, na které je třeba brát zřetel.

Nové měřicí systémy se uvádějí na trh podle MID. Po uvedení na trh již měřicí systémy a jejich komponenty podléhají národní metrologické legislativě a následnému ověřování.

5.6.2 Ověřování

Zkoušky pro ověření mohou být provedeny v několika krocích (např. laboratorní zkoušky některých komponent a následná zkouška systému jako celku). V rámci ověření měřicího systému se musí přezkoušet všechny komponenty z níže uvedeného seznamu, které daný měřicí systém obsahuje. Měřicí sys-

tém, který z výše uvedených komponent obsahuje pouze průtokoměr nebo průtokoměr a vyhodnocovací jednotku a je určený k měření množství kapaliny za aktuálních podmínek, je možné zkoušet jako celek v jednom kroku (např. výdejní stojany na pohonné hmoty bez automatické teplotní kompenzace).

Komponenty měřicích systémů, na kterých se vykonávají zkoušky při následném ověření

- Průtokoměr (případně snímač průtoku)
- Vyhodnocovací jednotka
- Připojená měřidla
 - Snímače teploty
 - Měřicí převodníky tlaku
 - Průtočné vibrační hustoměry

Zkoušení průtokoměru

Zkouška přesnosti průtokoměru se může provádět samostatně v laboratoři nebo v rámci zkoušek kompletního měřicího systému v posledním kroku ověření daného měřicího systému.

Zkoušení vyhodnocovací jednotky

Provádí se zkoušky analogových vstupů (např. pro připojení odporových snímačů teploty; (4 až 20) mA; atp.), pokud jsou v daném měřicím systému využívány. Tyto zkoušky mohou být prováděny v laboratoři nebo v místě instalace. Tyto zkoušky se nemusí provádět v případě, kdy připojené měřidlo využívající daný vstup vyhodnocovací jednotky a vyhodnocovací jednotka jsou zkoušeny dohromady jako kompletní měřicí řetězec.

V případě, že nelze vyloučit změnu nastavení, musí se provést kontrola nastavení vyhodnocovací jednotky (např. konstanty připojených měřidel; přepočtové tabulky; atp., případně kontrolní výpočet z aktuálních hodnot přepočítávacích parametrů). Tato kontrola se provádí v místě instalace v posledním kroku ověření daného měřicího systému.

Zkoušení připojených měřidel

Zkoušky připojených měřidel se mohou provádět laboratorně nebo v místě instalace a to samostatně nebo jako kompletní měřicí řetězec včetně vyhodnocovací jednotky.

5.6.3 Přehled ověřovaných měřicích systémů

Následuje výčet v praxi ověřovaných měřicích systémů. U jednotlivých druhů měřicích systémů ve výčtu je kromě účelu použití měřicího systému uvedena měřená veličina, komponenty (součásti) měřicího systému, které se zkouší v rámci jeho ověření a zkoušky, které se v současnosti u jednotlivých měřicích systémů vykonávají.

AUTOCISTERNY

Kryogenní kapaliny

Měřená veličina: hmotnost

Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr; snímač teploty

Zkoušky pro ověření: v jednom kroku jako celek; kontrola snímače teploty se provádí v rámci zkoušky

LPG

Měřená veličina: hmotnost / objem za aktuálních podmínek
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr
Zkoušky pro ověření: v jednom kroku jako celek

Pohonné hmoty

Měřená veličina: objem při 15 °C
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr; snímač teploty
Zkoušky pro ověření: v jednom kroku jako celek; kontrola snímače teploty se provádí v rámci zkoušky

AdBlue

Měřená veličina: objem za aktuálních podmínek
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr
Zkoušky pro ověření: v jednom kroku jako celek

Mléko (výkup)

Měřená veličina: objem za aktuálních podmínek
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr
Zkoušky pro ověření: v jednom kroku jako celek

VÝDEJNÍ STOJANY

Výdejní stojany bez automatické teplotní kompenzace na pohonné hmoty, AdBlue, LPG, kapaliny do ostřikovačů

Měřená veličina: objem za aktuálních podmínek
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr
Zkoušky pro ověření: v jednom kroku jako celek

Výdejní stojany s automatickou teplotní kompenzací

Měřená veličina: objem při 15 °C
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr; snímač teploty
Zkoušky pro ověření: zkoušky snímače teploty; zkoušky vyhodnocovací jednotky (simulace teploty); v posledním kroku zkouška kompletního stojanu

Výdejní stojany CNG

Měřená veličina: hmotnost
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr
Zkoušky pro ověření: v jednom kroku jako celek

VÝDEJNÍ MĚŘICÍ SYSTÉMY

Plnicí lávky pro cisterny

Měřená veličina: objem při 15 °C
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr; snímač teploty
Zkoušky pro ověření: zkoušky teploměru laboratorně a zkoušky vyhodnocovací jednotky (simulace teploty) nebo zkouška teplotního řetězce; v posledním kroku zkouška kompletního systému

Plnící PB lahví

Měřená veličina: hmotnost
Zkoušené součásti: průtokoměr
Zkoušky pro ověření: v jednom kroku - pouze zkouška průtokoměru

MĚŘICÍ SYSTÉMY PRO LÍH (VÝDEJ/POTRUBÍ)

Měřená veličina: objem čistého etanolu při teplotě 20 °C
Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr; snímač(e) teploty; hustoměr
Zkoušky pro ověření: v prvním kroku laboratorní zkoušky průtokoměru, snímače(ů) teploty a hustoměru; v druhém kroku vykonání kontroly nastavení vyhodnocovací jednotky, kontrolního měření, a kontrolního výpočtu na místě

DALŠÍ MĚŘICÍ SYSTÉMY

Měřicí systémy na potrubí; příjmové měřicí systémy; měření na daňových skladech

MAXIMÁLNÍ MOŽNÁ KONFIGURACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU JE NÁSLEDUJÍCÍ:

Měřená veličina: -

Zkoušené součásti: vyhodnocovací jednotka; průtokoměr; snímač(e) teploty; hustoměr; měřicí převodník tlaku

Zkoušky pro ověření: laboratorní zkoušky průtokoměru, snímače(ů) teploty, hustoměru a tlakoměru; zkoušky analogových vstupů vyhodnocovací jednotky; vykonání kontroly nastavení vyhodnocovací jednotky, kontrolního měření a kontrolního výpočtu na místě

5.7 Principy měření průtokoměrů pro kapaliny a jejich použití

5.7.1 Turbínové průtokoměry

Turbínové průtokoměry pro kapaliny dosahují přesnosti cca 0,5 %, která může být zlepšena elektronickou linearizací, a také vysoké opakovatelnosti cca 0,01 %. Rozsah měření bývá typicky 1:20.

Jedná se o rychlostní měření, a proto není vhodný pro aplikace s rychlými změnami průtoku. Vyžaduje instalovat ukladňovací přímé úseky potrubí o délce min. 10D před a 5D za měřidlem.

Je citlivý na mechanické nečistoty, tlakové rázy a viskozitu. Má velký rozsah pracovních podmínek – teplota, tlak.

V praxi se používají pro měření čistých medií s nízkou viskozitou, jako tlakem zkapalněných plynů (LPG), kryo-genních plynů (kapalného oxidu uhličitého, dusíku, kyslíku, argonu, vodík) a díky velmi malé tlakové ztrátě i pro samospádové systémy.

Nehodí se pro měření kapalin s vysokou viskozitou.

5.7.2 Objemové průtokoměry

Objemové průtokoměry pro kapaliny dosahují přesnosti cca 0,1 %, opakovatelnosti cca 0,05 % a rozsahu typicky 1:20.

Typů objemových průtokoměrů je celá řada. Podle principu měření je můžeme rozdělit na:

- pístové,
- lamelové,
- vřetenové,
- s eliptickými koly,
- se segmenty,
- s kroužkem,
- s nutačným diskem.

Obecně se jedná o přímou objemovou metodu, která nevyžaduje instalovat žádné uklidňovací úseky a není přímo ovlivněna viskozitou měřené kapaliny (rozdíl benzin - nafta cca 0,1 % podle typu). Vliv teploty na měřicí komoru je podle použitého materiálu –cca -0,005 % / °C pro ocel a -0,007 % / °C pro hliník. Vliv tlaku může být kompenzován dvouplošným provedením.

Největším vlivem u objemové metody je teplotní roztažnost kapalin (benzin 0,00120 °C⁻¹, nafta 0,00085 °C⁻¹).

V praxi se používají pro různé kapaliny, zejména při distribuci pohonných hmot, pro dávkovací aplikace a pro měření vysokých viskozit.

Nevýhodou může být případně mechanické opotřebení.

5.7.3 Hmotnostní průtokoměry na principu Coriolisovy síly

Hmotnostní průtokoměry na principu Coriolisovy síly (někdy též krátce hmotnostní Coriolisovy průtokoměry nebo jen hmotnostní průtokoměry) pro kapaliny dosahují velmi vysoké přesnosti lepší než 0,1 % a opakovatelnosti 0,05 % ve velkém rozsahu, typicky 1:100.

Obecně se jedná o přímou hmotnostní metodu, která není ovlivněna teplotní roztažností měřené kapaliny a nevyžaduje instalovat žádné uklidňovací úseky.

Kalibraci je možné provádět vodou za referenčních podmínek a následně je možné přesné měření širokého spektra kapalin (i plynů) za provozních podmínek, rozsah teploty média (-200 až +400 °C) a rozsah tlaku média (0,3 až 34 MPa). Vliv teploty kapaliny na přesnost měření je podle typu cca ± 0,0005 % / °C a tlaku cca -0,0006 % / bar.

Hmotnostní Coriolisovy průtokoměry ve většině případů umožňují měřit i teplotu a hustotu média, případně mohou mít ve svém převodníku integrovány různé přepočítávací funkce. Pro správnou funkci je nutné u hmotnostních Coriolisových průtokoměrů nastavit tzv. „nulový“ průtok na místě instalace za provozních podmínek. Jsou dostupné až do světlosti DN 250.

Výhodou je i bezúdržbová technologie bez mechanických pohyblivých částí.

V praxi se používají pro všechny typy aplikací, dávkování a zejména fiskální měření.

Nevýhodou může být vysoká pořizovací cena a vyšší tlaková ztráta.

5.7.4 Ultrazvukové průtokoměry

Ultrazvukové průtokoměry pro kapaliny přesnosti lepší než 0,5 % a opakovatelnosti 0,2 % v rozsahu typicky 1:20.

Jedná se o rychlostní metodu měření, v podstatě je měřena střední rychlost proudění na spojnicí mezi ultra-

zvukovými sondami. Proto je výrazně ovlivněn profilem proudění, zejména skrutem, a proto vyžaduje instalovat přímé uklidňovací úseky potrubí o délce min. 10D před a 5D za měřidlem.

Pro fiskální měření kapalin se používají pouze nejpřesnější typy v přímém provedení s pěti a více měřicími kanály, které umožňují provádět korekci na tvar profilu proudění.

Kalibraci je potom potřeba provést na dvou kapalinách s různou pokud možno limitní viskozitou včetně uklidňovacích úseků, což provoz značně prodražuje. (Obdobně jako vysokotlaká kalibrace pro měření plynů.)

Výhodou ultrazvukových průtokoměrů je, že nezasahují do profilu proudění, mají zanedbatelnou tlakovou ztrátu a malý příkon – jednodušší typy se vyrábí i s bateriovým napájením.

V praxi se pro fiskální měření používají pro aplikace DN 200 a výše, kde již nejsou dostupné hmotnostní průtokoměry.

Nevýhodou mohou být problémy s usazeninami a povlaky na ultrazvukových sondách. Měření také může být znehodnoceno bublinkami a pevnými částicemi v kapalině.

5.7.5 Další principy měření

Pro fiskální měření kapalin se z dalších principů používají např. škrtící orgány, které dosahují přesnosti kolem 1,0 % a dobré opakovatelnosti 0,1 a rozsahu 1:8.

Jedná se o rychlostní měřidla pracující na principu nepřímé hmotnostní metody založené na měření diferenčního tlaku.

Škrticích orgánů je celá řada:

- clony,
- dýzy,
- Venturiho dýzy,
- Venturiho trubice,
- víceotvorové rychlostní sondy.

Pro dosažení vyšší přesnosti se vždy kalibrují mokrou cestou kapalinou, pro jejíž měření jsou určeny i s instalačními úseky. Jejich výhodou je zejména jednoduchá konstrukce bez mechanických pohyblivých částí.

V praxi se používají na aplikace s vyšší třídou přesnosti, 1,5 pro oxid uhličitý a 2,5 pro kryogenní kapaliny.

Nevýhodou může být nelineární závislost (druhá odmocnina), malý měřicí rozsah, nižší přesnost a větší tlaková ztráta.

Z dalších principů se pro fiskální měření kapalin využívá také indukční průtokoměr, a to zejména pro měření a dávkování poživatin. Jeho použití je velmi omezeno min. vodivostí kapaliny, cca 20 μS/cm.

Ostatní principy, jako vírové, vířivé, oscilační a fluidikové se pro fiskální měření kapalin nepoužívají vůbec.

5.8 Normativní dokumenty

PRŮTOKOMĚRY NA KAPALINY JINÉ NEŽ VODA			
ZPŮSOB UVEDENÍ NA TRH	Položky přílohy k vyhlášce č. 345/2002 Sb.	PŘEDPISY PRO UVÁDĚNÍ NA TRH	PŘEDPISY PO UVEDENÍ NA TRH
Posuzování shody	1.3.12 1.3.13	Nařízení vlády o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh č. 120/2016 Sb., Příloha č. 1, Obecné požadavky, Příloha č. 7, Měřicí systémy pro kontinuální a dynamické měření množství kapalin jiných než voda (MI-005) Harmonizovaný normativní dokument OIML: OIML R 117-1: 2007 Dynamic measuring systems for liquids other than water Part 1: Metrological and technical requirements Normativní dokumenty OIML (zatím neharmonizované) OIML R 117-2: 2014 Dynamic measuring systems for liquids other than water. Part 2: Metrological controls and performance tests OIML R 117-3: 2014 Dynamic measuring systems for liquids other than water. Part 3: Test report format	Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C033-13 Měřidla a měřicí systémy protečeného množství kapalin jiných než voda nebo než zkapalněné plyny – výdejní stojany na pohonné hmoty Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C034-13 Měřidla a měřicí sestavy protečeného množství zkapalněných plynů Oznámené normy k OOP: OIML R 117-1 Dynamic measuring systems for liquids other than water Part 1: Metrological and technical requirements
Metrologická kontrola EHS	1.3.12 1.3.13	Vyhláška č. 21/2001 Sb., kterou se stanoví požadavky na průtokoměry pro kapaliny jiné než voda označované značkou EHS a na přídavná zařízení k těmto průtokoměrům, která byla novelizována vyhláškou č. 260/2003 Sb. Vyhláška č. 21/2001 Sb. byla zrušena k 30. 10. 2016. Vyhláška č. 22/2001 Sb., kterou se stanoví požadavky na měřicí systémy pro kapaliny jiné než voda označované značkou EHS, která byla novelizována vyhláškou č. 260/2003 Sb. Vyhláška č. 22/2001 Sb. byla zrušena k 30. 10. 2016. Možnost prvotního ověření podle rozhodnutí o schválení typu EHS skončila 30. 10. 2016.	PNÚ 1410.2 Objemové prietočné meradlá na kvapaliny. Metódy skúšania pre úradné overovanie
Národní metrologická kontrola	1.3.12 1.3.13 1.3.11 l) 1.3.11 m) 1.3.8	Možnost prvotního ověření podle národního rozhodnutí o schválení typu skončila 30. 10. 2016.	ČSN 25 7501 Objemová měřidla na kapaliny. Společná ustanovení ČSN 25 7503 Objemová měřidla na kapaliny průtočná. Základní ustanovení PNÚ 1410.2 Objemové prietočné meradlá na kvapaliny. Metódy skúšania pre úradné overovanie TPM 6666-03 Měřicí systémy pro měření protečeného množství kapalin do vstřikovačů skel motorových vozidel TPM 6662-02 Měřicí systémy na měření vydaného nebo přijatého objemu kapalin jiných než voda instalované na silničních cisternách; metody zkoušení při ověřování

		Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C033-13 Měřidla a měřicí systémy protečeného množství kapalin jiných než voda nebo než zkapalněné plyny – výdejní stojany na pohonné hmoty Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C034-13 Měřidla a měřicí sestavy protečeného množství zkapalněných plynů Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C008-10 Kontrolní lihová měřidla používaná k měření objemu vyrobeného lihu Oznámené normy k OOP: OIML R 117-1 Dynamic measuring systems for liquids other than water Part 1: Metrological and technical requirements
--	--	---

Poznámky:

Autorizovaná metrologická střediska provádějící ověřování stanovených měřidel jsou uvedeny na stránce: http://www.unmz.cz/urad/data_ams_1.asp?cd=488&typ=r

Aktuální stav harmonizovaných ČSN EN uvádí: <http://www.nlnorm.cz/ehn/kategorie/104> a stav normativních dokumentů

OIML uvádí: https://ec.europa.eu/growth/single-market/goods/building-blocks/legal-metrology/measuring-instruments_en

Aktuální stav oznámených norem k OOP uvádí: <https://www.cmi.cz/node/212>

Výrobce může zvolit jakékoli technické řešení, které splňuje základní technické požadavky. Aby mohl výrobce využít předpoklad shody, musí správně použít řešení uvedená v příslušných harmonizovaných normách nebo v normativních dokumentech (podle § 11, ods.2 nařízení vlády č. 120/2016 Sb.)



6. METROLOGIE PRŮTOKU A PROTEČENÉHO MNOŽSTVÍ VODNÍ PÁRY

Poslední kapitolu našeho přehledu uvedeme zodpovědním nabízející se otázky „proč vodní pára v přehledu metrologie průtoku kapalin?“.

Důvodů je více:

- shodné nebo podobné měřicí principy průtoku vodní páry a vody,
- zkoušení měřidel průtoku vodní páry vodou a vzduchem,
- použití hmotnosti kapalného kondenzátu (vzniklého po úplné kondenzaci vodní páry) k výpočtu tepla v páře.

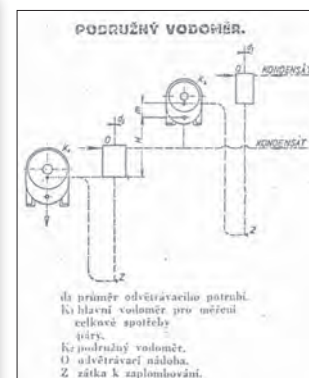
Vodní pára je účinné medium pro transport energie se širokým rozsahem aplikací – od výroby elektrické energie a chemických procesů po vytápění.

6.1 Vývoj metrologie průtoku vodní páry

První stanovené měřidlo, související s měřením vodní páry byl vodoměr na měření beztlakého kondenzátu, z roku 1932.



Obr. 6.1: Schválení typu bubnového vodoměru na kondenzát z roku 1932



Obr. 6.2: Ukázka z příručky Elektrických podniků hl. m. Prahy z roku 1939, uvádějící příklad měřicí stanice kondenzátu se zabezpečovacími plombami

První měřiče tepla, které byly zařazeny mezi stanovená měřidla, byly mechanické měřiče tepla. Byly zařazeny do

této kategorie vyhláškou č. 59/1979 Sb. Elektrické měřiče tepla a jejich hydraulické části byly zařazeny mezi stanovená měřidla výměrem FÚNM č. M-101/91 z roku 1991.

Schvalování typu průtokoměrných částí měřičů tepla na vodní páru bylo v České republice v devadesátých letech minulého století prováděno za využití hmotnostní metody s letným startem na zkušebním zařízení pro vodní páru VUCHZ, a.s., Brno. V současnosti se v primární etalonáži používají etalony a metody uvedené v části 6.3.

Vodní pára byla v České republice zejména v 2. polovině 20. století ve velkém rozsahu používána k vytápění objektů, k ohřevu teplé užitkové vody a k technologickým účelům. Aby při měření tepla v obchodním styku nedocházelo k různým výkladům při fakturaci, vydal ÚNMZ v roce 1995 Metodický pokyn pro metrologii MPM 18-95 Směrnice pro přípustné metody měření tepla ve vodní páře a v kondenzátu v obchodním styku. Klíčovým principem směrnice je samostatné stanovení tepla v páře a samostatné stanovení tepla v kondenzátu. Pro případ, kdy není vrácen všechny kondenzát, je potřeba změřit nebo stanovit jeho objem nebo hmotnost.

Směrnice stanovuje jako přípustné pro obchodní styk tyto metody měření tepla:

- pro měření tepla v přehřáté páře – přímou metodu,
- nepřímou metodu,
- pro výpočet tepla v mokré páře – náhradní metodu,
- pro výpočet tepla v kondenzátu – metodu stanovení tepla v kondenzátu.

Metody jsou definovány následovně:

Přímá metoda stanovení tepla v přehřáté vodní páře – metoda založena na součinu stanovené hmotnosti vodní páry a entalpie přehřáté vodní páry.

Nepřímá metoda stanovení tepla v přehřáté vodní páře – metoda založena na součinu stanovené hmotnosti kondenzátu (vzniklého po úplné kondenzaci vodní páry) a entalpie přehřáté vodní páry.

Náhradní metoda stanovení tepla v mokré vodní páře – metoda založena na součinu stanovené hmotnosti kondenzátu (vzniklého po úplné kondenzaci vodní páry), entalpie odpovídající syté páry a korekčního součinitele entalpie dohodnutého mezi dodavatelem a odběratelem tepla. Při poklesu parametrů páry pod mez sytosti lze u přímé metody stanovit teplo v mokré vodní páře modifikací náhradní metody. Modifikovaná metoda je založena na součinu korigované stanovené hmotnosti páry, odpovídající syté páře, a korigované entalpie odpovídající syté páře.

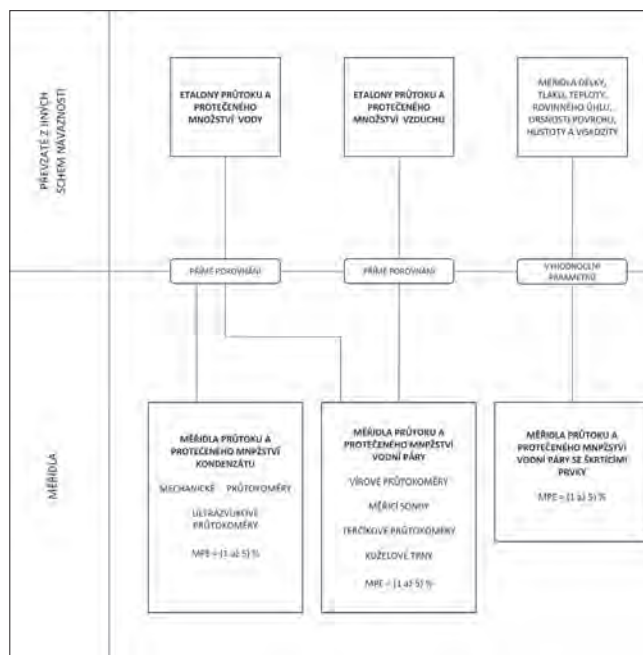
Metoda stanovení tepla v kondenzátu - metoda založena na součinu stanovené hmotnosti kondenzátu a teploty kondenzátu.

MPM 18-95 vymezuje podmínky pro měřiče tepla jako stanovená měřidla a popisuje schémata metod měření.

Na rozdíl od České republiky a dalších zemí bývalého RVHP, nebyla před rokem 1989 ve většině západoevropských zemí používána vodní pára pro vytápění, a tudíž nebyly používány měřiče tepla s médiem vodní pára. Např. v SRN nebyly měřiče tepla na vodní páru stanovenými měřidly a PTB Braunschweig jejich použití schvaloval výjimečně případ od případu.

6.2 Metrologická návaznost

Specifikum schémat návaznosti pro páru spočívá v tom, že se měřidla navazují na etalony průtoku vody a vzduchu, to znamená jiných médií, než je samotná vodní pára.



Obr. 6.3: Schéma návaznosti průtoku a protečeného množství vodní páry a kondenzátu

Měřidly průtoku a protečeného objemu vodní páry se škrticím prvkem - centrickou clonou se zabývá opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C041-14. Ostatní měřidla průtoku a protečeného objemu vodní páry řeší technické předpisy metrologické TPM 3723-03 a TPM 3724-03.

Podrobný rozbor jednotlivých metod kalibrace měřidel průtoku páry podává publikace [6.1].

6.3 Metrologická kontrola průtokoměrných částí měřičů tepla dodávaného vodní párou

6.3.1 Metody zkoušení pro schválení typu

Metody provádění zkoušek typu průtokoměrných částí měřičů tepla dodávaného vodní párou uvádí TPM 3724-03 v příloze A.

V rámci schválení typu se provádí:

- kontrola předložené dokumentace,
- porovnání zkušebních vzorků s požadavky platných předpisů,
- zkoušky pro schválení typu.

Pro vykonání zkoušky typu se doporučuje provést zkoušky vodní párou a jedním z médií – vodou nebo vzduchem podle dokumentace výrobce. Zkouška typu stanoví možnost zkoušení vodou nebo vzduchem, přičemž se stanoví podmínky pro vyhodnocovací zařízení pro vodní páru a pro vyhodnocovací zařízení pro vodu nebo vzduch.

Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C041-14 Snímače průtoku nosného média s centrickou clonou stanovuje pro proces schvalování typu:

- vnější prohlídku,
 - kontrolu geometrických parametrů daných v části 2 OOP.
- Nosním médiem je podle OOP vodní pára, tj. plynné skupenství vody a/nebo kondenzát.

Oznámené normy k této OOP jsou ČSN EN ISO 5167-1 a ČSN EN ISO 5167-2.

Metody provádění zkoušek typu vírových měřidel protečeného množství tekutin uvádí TPM 6665-01 v příloze A. V rámci schválení typu se provádí:

- kontrola předložené dokumentace,
- porovnání zkušebních vzorků s požadavky platných předpisů,
- zkoušky pro schválení typu.

Zkouška typu stanoví možnost zkoušení vodou nebo vzduchem, přičemž se stanoví podmínky pro vyhodnocovací zařízení pro vodní páru a pro vyhodnocovací zařízení pro vodu nebo vzduch.

6.3.2 Metody zkoušení pro ověřování

TPM 3724-03 pro ověřování průtokoměrných částí měřičů tepla dodávaného vodní párou stanovuje:

- přímou metodu zkoušení etalony protečeného objemu vody,
- přímou metodu zkoušení etalony protečeného objemu vzduchu.

Etalony protečeného objemu vody jsou popsány v kapitole 3.4 této přílohy.

Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C041-14 stanovuje, že při prvotním ověřování snímačů průtoku nosného média s centrickou clonou a jeho částí se provádějí tyto zkoušky a činnosti:

- vizuální prohlídka,
- zkouška metrologických charakteristik,
- vyznačení základních geometrických parametrů na příslušné části snímače průtoku nosného média s centrickou clonou.

Postup následného ověření clonové desky je shodný s postupem při prvotním ověřování dle článku 6.2.3 OOP. Následné ověřování přímých délek potrubí snímače průtoku nosného média s centrickou clonou se neprovádí. Trvalé plnění pracovních podmínek včetně udržování odpovídajícího stavu a čistoty vnitřního povrchu potrubí zajišťuje uživatel měřidla. Za tímto účelem uživatel měřidla provádí nebo zajišťuje provedení vizuální kontroly stavu vnitřního povrchu potrubí v intervalech zohledňujících provozní podmínky a druh měřeného nosného média. Tato kontrola musí být provedena také vždy před instalací clonové desky. Při zkoušce v době platnosti ověření dle odst. 4 § 11 zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů, se na snímač průtoku nosného média uplatňují reálné aplikovatelné stejné požadavky jako při prvotním ověřování.

TPM 6665-01 pro metody zkoušení při ověřování vírových měřidel protečeného množství tekutin stanovuje:

- přímou metodu zkoušení etalony protečeného objemu vody,
- přímou metodu zkoušení etalony protečeného objemu vzduchu.

6.4 Průtokoměry podléhající metrologické kontrole

6.4.1 Měřicí principy

Uvádíme klasifikaci principů související s posuzováním shody a se schvalováním typu a ověřováním. Databáze schválených typů měřidel je na stránce <http://app.cmi.cz/typover/>

Pro vyhledání průtokoměrů na páru resp. kondenzát je nutno zvolit obor měření - (142) vodoměry.

Podle principu činnosti se průtokoměry na sytou a přehřátou páru člení hlavně na následující druhy:

- vírové průtokoměry** - založené na principu snímání frekvence vírů vznikajících za překážkou v proudění, s vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo,
- škrtící prvky** - založené na principu škrtících prvků, kde se průtok měří na základě zmenšení průtokového průřezu, přičemž nastává místní zvětšení kinetické energie na úkor tlakové energie, a součástí takého měřidla je i měřidlo tlakové difference, které je vybavené vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo,
- měřicí sondy** - založené na principu měření změn kinetické energie na tlakovou, přičemž využívají tlakový rozdíl dynamického tlaku v potrubí oproti jinému tlaku média. Součástí takého měřidla je i měřidlo tlakové difference, které je vybavené vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo,
- terčíkové průtokoměry** - založené na principu využívajícím měření silového účinku tekutiny, kde dochází k mechanickému posuvu terčíku, a tím se měří průtok tekutiny, přičemž průtokoměr je vybavený vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo.
- kuželové trny** - založené na principu změny plošného obsahu průřezu, přes který protéká tekutina, za využití kuželového trnu a hodnota průtoku je určena měřidlem tlakové difference, které je vybavené vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo.

Podle principu činnosti se průtokoměry na parní kondenzát člení hlavně na následující druhy:

- mechanické průtokoměry** - založené na přímém mechanickém působení za použití odměrných komor s pohyblivými stěnami anebo za působení rychlosti proudění parního kondenzátu na rychlost otáčení pohyblivé části (turbíny nebo oběžného kola),
- ultrazvukové průtokoměry** - založené na ultrazvukovém principu využívajícím princip rozdílu času přechodu ultrazvukového signálu mezi dvěma protijdoucími směry proudění parního kondenzátu s vysílačem impulsů anebo zařízením na jiný přenos hodnot z průtokoměru na kalorimetrické počítadlo.

6.4.2 Technické a metrologické požadavky

Technické a metrologické požadavky na průtokoměrné části měřičů tepla dodávaného vodní párou u uvádí TPM 3723-03.

Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C041-14 stanovuje pro snímače průtoku nosného média s centrickou clonou technické a metrologické požadavky.

Technické a metrologické požadavky na vírová měřidla protečeného množství tekutin uvádí TPM 6664-01.

6.4.3 Požadavky na montáž a provoz

Zákon o metrologii č. 505/1990 Sb. v platném znění ve svém příslušném paragrafu specifikuje povinnosti subjektů, které vyrábějí nebo opravují stanovená měřidla, popřípadě provádějí jejich montáž, u uživatelů měřidel. Problematika je rozpracována v dokumentu ČMI MP 001 Registrace subjektů oprá-

vujících stanovená měřidla nebo provádějících jejich montáž.

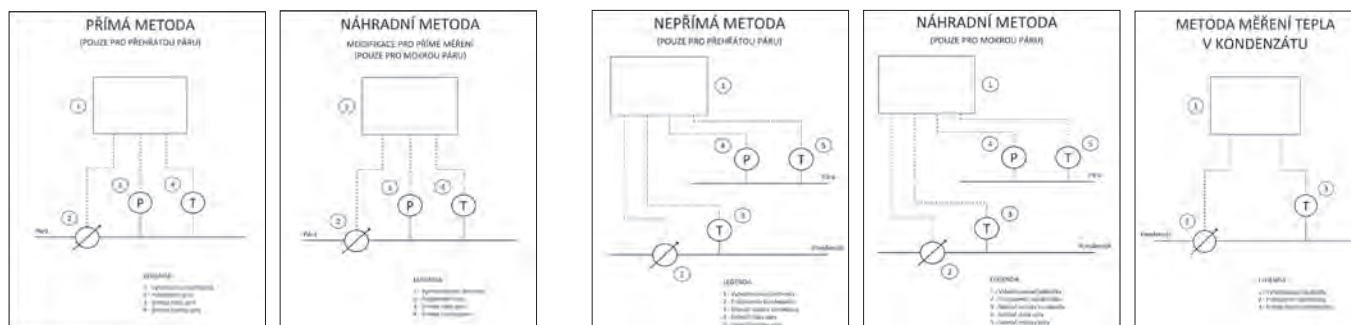
Požadavky na montáž a provoz průtokoměrných částí měřičů tepla dodávaného vodní párou uvádí podrobně TPM 3723-03.

Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C041-14 stanovuje pro snímače průtoku nosného média s centrickou clonou požadavky na instalaci a značení měřidla.

Požadavky na montáž a provoz vírových měřidel protečeného množství tekutin uvádí TPM 6664-01.

Reference

[6.1] A Review of Steam Flowmetering Technology. Project No. FEUS04, October 2004, NEL Glasgow.



Obr. 6.4: Použití průtokoměrů pro měření syté a přehřáté vodní páry podle jednotlivých metod MPM 18-95

Obr. 6.5: Použití průtokoměrů pro měření kondenzátu podle jednotlivých metod MPM 18-95

6.5 Legislativa a normativní dokumenty

SNÍMAČE PRŮTOKU VODNÍ PÁRY MĚŘIČŮ TEPLA			
ZPŮSOB UVEDENÍ NA TRH	Položky přílohy k vyhlášce č. 345/2002 Sb.	PŘEDPISY PRO UVÁDĚNÍ NA TRH	PŘEDPISY PO UVEDENÍ NA TRH
Posuzování shody	Měřiče tepla s nosným médiem vodní párou nejsou předmětem posuzování shody		
Metrologická kontrola EHS	Měřiče tepla nejsou předmětem metrologické kontroly EHS		
Národní metrologická kontrola	3.1.2 b)	Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C041-14 Snímače průtoku nosného média s centrickou clonou Oznámené normy k OOP: ČSN EN ISO 5167-1 Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 1: Obecné principy a požadavky, ČSN EN ISO 5167-2 Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 2: Clony TPM 3723-03 Měřiče tepla dodávaného vodní párou, technické a metrologické požadavky, požadavky na montáž a provoz TPM 3724-03 Měřiče tepla dodávaného vodní párou, metody zkoušení při ověřování (zkoušky pro schválení typu) MPM 18-95 Směrnice pro přípustné metody měření tepla ve vodní páře a v kondenzátu v obchodním styku TPM 6664-01 Vírová měřidla protečeného množství tekutin; metrologické a technické požadavky; požadavky na montáž a provoz TPM 6665-01 Vírová měřidla protečeného množství tekutin; metody zkoušení při ověřování	

Poznámky:

Autorizovaná metrologická střediska provádějící ověřování stanovených měřidel jsou uvedeny na stránce: http://www.unmz.cz/urad/data_ams_1.asp?cd=488&typ=r

Aktuální stav oznámených norem k OOP uvádí: <https://www.cmi.cz/node/212>

Redakční rada:

Ing. Jan Tichý (předseda), Ing. František Jelínek, CSc. (místopředseda), Ing. Emil Grajciar, Doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D., Ing. Josef Vojtíšek, Doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Ing. Milan Badal, Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc., Ing. Jan Klíma, Ing. Jiří Kazda, Mgr. Václava Holušová, RNDr. Klára Popadičová, Ing. Jaroslav Rajlich, Ing. Petr Pánek, CSc., Jitka Hrušková, PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor.

Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 15 % DPH. Vydavatel: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) ve spolupráci s Českým metrologickým institutem, Českou metrologickou společností a Českým kalibračním sdružením. Sídlo vydavatele: ÚNMZ, Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: prosinec 2016. Nakladatelský servis, předplatné a inzerce: PhDr. Bořivoj Kleník, Bezdědice 19, 294 25 Katusice, tel./fax: +420 326 394 888, mobil: 603 846 527, e-mail: klenik@q-art.cz. Nevyžádané materiály se nevracejí. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Tato Tematická příloha je součástí č. 4/2016 časopisu Metrologie. © ÚNMZ

Foto na obálce:

Sada etalonových odměrných nádob WILLIG

Photo on the front page:

Set of standard capacity measures WILLIG

