

2/2025
ROČNÍK 34

METROLOGIE

ČASOPIS PRO METROLOGII,
ZKUŠEBNICTVÍ
A TECHNICKOU NORMALIZACI

SVĚTOVÝ DEN METROLOGIE

20. května 2025



150 let Metrické konvence

Měření pro všechny časy, pro všechny lidi

SVĚTOVÝ DEN METROLOGIE**Ing. František Jelínek, CSc.****150 let od podpisu Metrické konvence –
20. květen 2025.....1****INFORMACE****Ing. Zbyněk Veselák****Staropřístupové směrnice9****VĚDA A VÝZKUM****Ing. Jan Šrámek, Ph.D.****doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.****Použitelnost a způsobilost měřicích systémů
(dle EN ISO 14253-1 a ISO 22514-7)13****METROLOGIE V PRAXI****Ing. Michal Žoužela, Ph.D.; Ing. Pavel Zubík, Ph.D.;****prof. Ing. Jan Šulc, CSc.; Bc. Renata Khainová;****Bc. Pavel Orság; Vojtěch Vachta****Metrologické charakteristiky přenosných
ultrazvukových měřidel rychlosti vodního proudu25****Nabídka akcí ČMS na II. pololetí roku 2025****WORLD METROLOGY DAY****Ing. František Jelínek, CSc.****150 Years Since the Signing of the Metre Convention –
20 May 20251****INFORMATION****Ing. Zbyněk Veselák****Old Approach Directives9****SCIENCE AND RESEARCH****Ing. Jan Šrámek, Ph.D.****doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.****Applicability and Suitability of Measurement Systems
(According to EN ISO 14253-1 and ISO 22514-7).....13****METROLOGY IN PRACTICE****Ing. Michal Žoužela, Ph.D.; Ing. Pavel Zubík, Ph.D.;****prof. Ing. Jan Šulc, CSc.; Bc. Renata Khainová;****Bc. Pavel Orság; Vojtěch Vachta****Metrological Characteristics of Portable
Ultrasonic Water Flow Velocity Meters.....25****The List of ČMS Events in the 2nd Half of 2025**

150 LET OD PODPISU METRICKÉ KONVENCE – 20. KVĚTEN 2025

Ing. František Jelínek, CSc.

Úvodem

Výročí podpisu Metrické konvence je každoročně věnován Světový den metrologie, který by měl široké veřejnosti vysvětlovat a zdůrazňovat úlohu metrologie v každodenním životě. Pro čtenáře časopisu *Metrologie* to jistě není nutné, je ale dobré připomenout si, v jak zajímavém a užitečném oboru vědy i praxe mnozí z nich pracují. Letošní Světový den metrologie je ozvláštněn právě 150. výročím důležitého kroku k vytvoření mezinárodně uznávané soustavy jednotek měření, systému „měření pro všechny časy, pro všechny lidi“.

Podpisem Metrické konvence se na jedné straně završilo mnoho desítek nebo spíš stovek let trvajících úsilí vyvolávané potřebou spolehlivého a důvěryhodného měření ve vědeckých experimentech, v geodezii a navigaci, v obchodě a ve výrobě; šlo ovšem také o mnohá politická a diplomatická jednání spojená se zaváděním jednotných měr a vah v prostředí jejich historicky vzniklého chaosu. To vše v době bouřlivého rozvoje vědění, v době průmyslové revoluce, ale také v době ohromného společenského vření až po Velkou francouzskou revoluci.

Na druhé straně znamenala Metrická konvence začátek institucionalizované mezinárodní spolupráce, vedoucí až

k vytvoření mezinárodní soustavy jednotek SI a k definici jednotek na základě univerzálních přírodních konstant. Byl zřízen důležitý Mezinárodní úřad pro váhy a míry a vznikla funkční struktura orgánů Metrické konvence. Signatáři měli jasnou a ambiciózní vizi: sjednotit a zdokonalit na celém světě systém měření tak, aby sloužil **po všechny časy a pro všechny lidi**.

Cílem tohoto článku je stručně popsat v chronologickém uspořádání významné okamžiky vývoje metrologie, ale také jejich historické pozadí; kde je to možné, s pozorností věnovanou situaci v naší zemi.

Poznámka: Všechny legislativní dokumenty sice mluví o *Úmluvě o soustavě metrické* [1], [2], ale vžilo se označení *Metrická konvence*, pod vlivem obdobných označení *Metre Convention* (En), *Convention du Mètre* (Fr), *Meterkonvention* (De). V textu se v tomto článku používá zkratka MK.

1. Před podpisem Metrické konvence

Historie metrologie sice začíná souběžně se vznikem prvních civilizací, protože se vždy vynořovaly snahy o zavedení obecně platných měr a vah (především pro obchod a výběr daní), ale historii Metrické konvence je vhodné sledovat až v době vědecké revoluce.

V 17. a 18. století se totiž v evropském myšlení uskutečnil skutečný převrat. Osvícenství přineslo nové intelektuální a filosofické zaměření a otevřelo cestu k využití myšlenkového potenciálu lidí, vedlo k racionálnímu myšlení a v důsledku toho i k novým principům humanismu, až k dosud platným zásadám občanské svobody a rovnosti.

Zde je třeba hledat skutečný počátek cesty až k Metrické konvenci a Mezinárodní soustavě jednotek SI. Byla to doba velkých vědeckých činů a jmen (s mnoha z nich se setkáváme v názvech jednotek SI) a také doba vzniku významných vědeckých institucí, jako je například britská *Royal Society for the Improvement of Natural Knowledge*, založená roku 1660, nebo *Petrohradská akademie věd* (1724) a *Francouzská akademie věd* (*Académie des sciences* – 1666).

Historie sledovaného období je mimořádně pestrá. Pod vlivem osvícenství se mění i způsob vlády k tzv. *osvícenskému absolutismu*, který přece jen dovoluje lépe reagovat na požadavky doby. Vznikají koloniální říše, probíhají opakované války a vznikají i nové státní útvary. V Rakousku je to doba tereziánských reforem, vlády Marie Terezie a později Josefa II. Specifický je vývoj ve Francii. Protože rozhodujícím způsobem ovlivnil přípravu MK, připomeňme alespoň jeho obrysy.

Král Ludvík XVI. (1754–1793) se pokoušel zavést reformy, které by ozdravily státní finance a odstranily některé přežitky středověku, ale pro houževnatý odpor šlechty a duchovenstva se nedařilo reformy prosadit. V zemi vzrůstala velká nespokojenost. Velká francouzská revoluce propukla

UNMZ ÚŘAD PRO TECHNICKOU METROLOGII A SYSTÉMY MĚŘENÍ

**SVĚTOVÝ
DEN METROLOGIE**

20. května 2025

150 let Metrické konvence

Měření pro všechny časy, pro všechny lidi

BIPM 150 OIML 70th anniversary UNESCO 2024-2033 International Decade of Sciences for Sustainable Development

worldmetrologyday.org

v roce 1789 a vedla roku 1792 k nastolení *První francouzské republiky* a změně stavovské společnosti v občanskou. Toto období vlády ve Francii trvalo formálně až do vyhlášení *prvního císařství* Napoleonem v roce 1804. Evropou potom otřásaly napoleonské války až do přechodného obnovení monarchie. Ta však skočila v roce 1848 a byla vyhlášena tzv. *Druhá republika* (1848–1852), po které následovalo tzv. *druhé císařství* (Napoleon III.) V roce 1870 vypukla prusko-francouzská válka, která skončila porážkou Francie, sjednocením Německa s dominancí Pruska a vyhlášením *Třetí francouzské republiky*.

Metř – původ názvu jednotky

S rozvojem vědy v 17. století se ozývaly hlasy volající po zavedení všeobecně přijímané jednotky délky. Její potřeba byla vyvolána úkoly geodézie a také dálkové navigace, protože v té době nastal prudký rozvoj zámořských cest. Brzy se jako základ jednotky délky (vzdálenosti) začalo prosazovat odvození z rozměrů Země. K tomu účelu probíhala spousta měření, založených na astronomických pozorováních a na triangulaci. Tzv. *stupňové měření* určovalo délku poledníkového oblouku mezi dvěma místy s astronomicky zjištěnou zeměpisnou šířkou. Základní poledník se přitom bral v různých zemích a pro různá měření víceméně náhodně. K přijetí Greenwichského poledníku za základ došlo teprve v roce 1884.

1660 V letech 1660 až 1668 bylo navrženo použít v desítkové soustavě jako délkovou jednotku délku tzv. sekundového kyvadla (John Wilkins – přírodovědec, matematik, Christopher Wren – astronom, architekt). Tato cesta se ukázala být slepou uličkou, ale definitivně opuštěna byla až kolem roku 1790.

1675 Italský vědec Tito Livio Burattini zveřejnil dílo „Misura universale“, ve kterém zahrnul do svého systému délku, kterou nazval „metro catolico“, *univerzální míra*. Proto se často pokládá za prvního, kdo navrhl název jednotky délky **metř**. Toto pojmenování zřejmě v následujících desetiletích nezapadlo. Později se tento název prosadil ve výsledných doporučeních komise, kterou vedl Jean-Charles de Borda.

Gabriel Mouton (1618-1694), francouzský duchovní a vědec se zájmem o matematiku a astronomii, navrhl jako jeden z prvních přirozený standard délky, založený na obvodu Země, dělený decimálně. Zde jsou jistě počátky vývoje, který vedl k přijetí metrického systému v roce 1795. Zřetelné jsou tři důležité prvky Moutonova návrhu: desetinné dělení, racionální předpony a nezávislý základ definice.

Mezitím – snahy o zavedení jednotných měř v habsburském soustátí

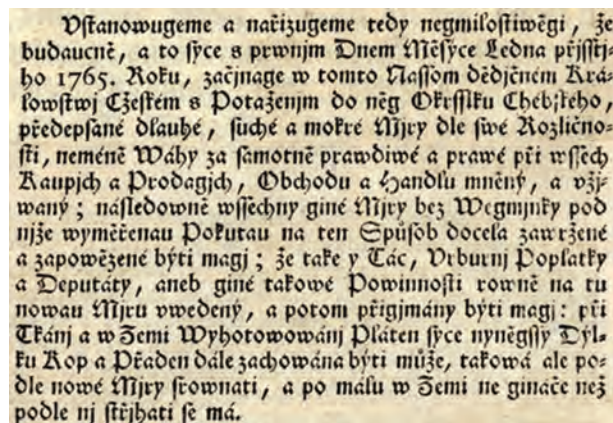
Snaha po zavedení jednotných měř a vah se dá dobře sledovat na základě dostupných dokumentů. Ukáže se, že to nebyla zrovna jednoduchá záležitost, mimo jiné i pro složité územní členění státu a pro rozmanité místní tradice.

1756 V generálním patentu ze dne 14. 7. 1756 vládnoucí rakouské arcivévodkyně Marie Terezie bylo stanoveno, že v zemích „pod Enží“ mají platit vídeňské (tzv. dolnorakouské) míry a váhy. Základem byl vídeňský sáh a loket. Patent se měl podle některých pramenů vztahovat i na České království, ale v praxi se dále používaly tradiční míry. V Čechách totiž byla ustálena celkem jednotná soustava tzv. měř pražských, jako měř zemských. Teprve patentem z 30. 7. 1764 se vyhláší, že v Českém království mají být za jediné zákonné míry chápány ty podle patentu ze 14. 7. 1756, a to s platností od 1. 1. 1765. Pro Markrabství moravské byl vydán již dříve patent ze dne 6. 2. 1758, s uzákoněním dolnorakouských měř od 15. 5. 1758. Morava totiž ekonomicky měla blíže k Vídni a Rakousku vůbec, takže změna nebyla tak velká.

V Národním archivu jsou zachovány originály obou patentů. Ten, který platil pro České království, je zde uložen v německé i české verzi.



Obr. 1: Část záhlaví patentu z r. 1758 pro Moravu



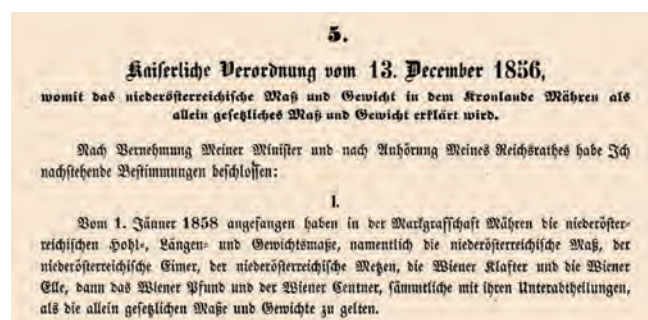
Obr. 2: Část textu patentu z r. 1764 pro České království

Prosazení záměru asi nebylo jednoduché, což dokládá soubor císařských výnosů, vydaných až za vlády Františka

Josefa I., téměř o sto let později. Přehledně jsou tyto výnosy citovány v tabulce v uspořádání podle data platnosti:

Korunní země	Platnost od	Vydáno dne
Čechy	1. června 1856	18. června 1855
Slezsko	1. července 1857	15. června 1856
Morava	1. ledna 1858	13. prosince 1856
Dalmácie	1. srpna 1858	14. srpna 1856

Výnosy obsahují převodní tabulky mezi novými jednotkami a těmi dosud v dané zemi používanými; v mnoha případech se zde ukazuje původní nejednotnost. Například ve výnosu pro Slezsko se vyskytují opavské a pruské jednotky, ve výnosu pro Dalmácii je to ještě mnohem komplikovanější.



Obr. 3: Příklad výše zmíněného výnosu, platného pro Moravu

Doba kolem Velké francouzské revoluce

1790 8. května francouzské Národní shromáždění rozhodlo, že délka nového metru by měla být stejná jako délka kyvadla, jehož doba půlkyvu je rovna jedné sekundě.

1791 Francouzské Národní shromáždění přijalo návrh Francouzské akademie věd na definici metru, který má být rovný jedné desetimilióntině vzdálenosti od rovníku k severnímu pólu.

Francouzská akademie věd byla požádána, aby vytvořila „komisi pro metr“. Předsedal jí Jean-Charles de Borda, na práci se podílelo několik známých vědců, jako jsou Joseph-Louis Lagrange, Pierre-Simon Laplace a Gaspard Monge.

Poznámka: Jean-Charles de Borda (1733–1799) byl francouzský námořní důstojník, geodet, matematik a astronom, ale také mechanik a vynálezce měřicích přístrojů. Byl členem Francouzské akademie věd.

Komise doporučila jako univerzální jednotku desetimilióntinou část vzdálenosti od pólu k rovníku, měřeno na poledníku procházejícím Paříží. Proto byla v letech 1792–1798 provedena úžasná práce, jejímž cílem bylo změřit trigonometricky délku oblouku mezi Dunkerkem a Barcelonou. V té době probíhaly četné nepokoje a válka Francie se Španělskem, a tím byla práce kromě vědecké náročnosti doslova dobrodružstvím na hranici ohrožení života. Na měření se podíleli Jean Baptiste J. Delambre

(severní úsek) a Pierre Méchain, oba již proslulí astronomové a geodeti.

Protože komise znala přibližný výsledek měření, objedнала mezitím několik platinových tyčí mírně odlišných délek pro novou jednotku, metr. Jakmile byla známa přesná vzdálenost, byla vybrána tyč, která byla nejbližší výsledku měření.

1795 Metrický systém byl oficiálně přijat ve Francii zákonem Národního konventu. Doplňující zákon byl potom přijat ještě v roce 1799. Trvalo však dalších skoro 50 let, než se systém stal povinným v celé Francii. Podepsala se na tom, jak jinak, opět historie; vývoj mocenských poměrů, Napoleonské války až do definitivní Napoleonovy porážky, restaurace monarchie, Druhá republika atd.

Poznámka: Skutečně šlo o zákon Národního konventu. Jinde v textu se uvádí Národní shromáždění. V revoluční době se totiž zákonodárné a výkonné orgány státu různě obměňovaly, ale to už je nad možností tohoto článku.

1799 22. června 1799 byly uloženy dva platinové etalony metru a kilogramu do Státního archivu Francouzské republiky (*Archives de la République*) - další krok k vytvoření mezinárodního systému jednotek.

Další rozvoj metrického systému

1832 Carl Friedrich Gauss prosazoval použití metrického systému, spolu se sekundou definovanou v astronomii, jako koherentního systému jednotek pro fyziku. Provedl měření magnetického pole Země na základě jednotek pro hmotnost, délku a čas. Zde je možno vidět počátek vývoje směrem k začlenění jednotek pro elektrické a magnetické veličiny do systému.

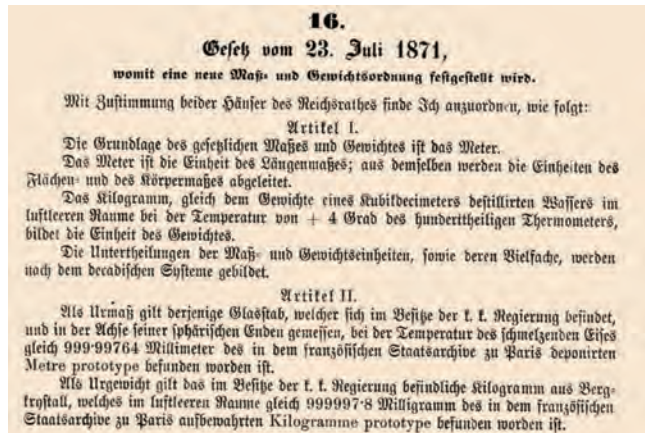
1860 Aplikace systému v oboru elektřiny a magnetismu pokračovaly počínaje rokem 1860 díky Britské asociaci pro pokrok vědy (*British Association for the Advancement of Science, BAAS*) pod vedením Jamese C. Maxwella a Williama Thomsona. Byla formulována idea koherentního systému jednotek a v roce 1874 BAAS zavedl systém CGS, založený na základních jednotkách centimetr, gram a sekunda. Tento systém byl podstatný pro další rozvoj fyziky a experimentálních postupů.

1867 Během mezinárodní výstavy v Paříži byl vytvořen *Výbor pro váhy, míry a měny* s výzvou k mezinárodnímu uplatnění metrického systému. V tomtéž roce vyzvalo na svém zasedání v Berlíně setkání odborníků pro *evropské měření (zeměpisného) stupně* k vytvoření evropského úřadu pro váhy a míry, k vytvoření mezinárodních prototypů a k mezinárodnímu přijetí metrického systému pro geodetická měření.

1869 Na doporučení Francouzské akademie věd a akademie v Petrohradě vyzval Napoleon III. řadu států, aby vyslaly své zmocněnce ke schválení mezinárodního přijetí metrického systému.

1870 Mezinárodní komise pro metr se sešla poprvé v Paříži jen několik dní po vypuknutí sporu mezi Francií a Pruskem. Činnost komise byla potom obnovena až v roce 1872.

1871 Rakousko-Uhersko zavádí metrický systém zákonem RGBI (Reichsgesetzblatt, Říšský zákoník) č. 16 z 23. července 1871. V Říšském zákoníku byl zákon zveřejněn v březnu 1872. V té době se metrický systém zaváděl také v Německu a v řadě dalších evropských zemí.



Obr. 4: Zavedení metrických jednotek v Rakousku-Uhersku

2. Metrická konvence

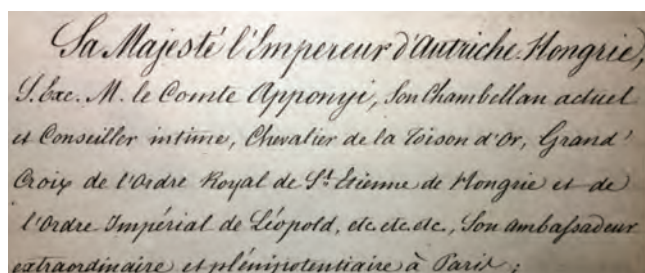
1875 Mezi březnem a květnem 1875 se konala diplomatická konference s cílem mezinárodního zavedení metrického systému. Na sedmi plenárních zasedáních a na mnoha setkáních odborných skupin se připravoval obsah a znění konvence.

Konečně 20. května 1875 byla Metrická konvence podepsána. Prvními signatáři úmluvy byli Argentina, Belgie, Brazílie, Dánsko, Francie, Itálie, Německo, Norsko, Peru, Portugalsko, Rakousko-Uhersko, Rusko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko, Turecko, USA a Venezuela. Zajímavé je, že mezi nimi byly už Spojené státy, zatímco Velká Británie přistoupila k Metrické konvenci až v roce 1884.

Text sjednané úmluvy začíná slovy:

„Vysoké smluvní strany, přejíce si zajistiti mezinárodní sjednocení a zdokonalení metrického systému, usnesly se uzavřítí za tímto účelem úmluvu a jmenovaly svými zplnomocněnými zástupci, jmenovitě:“

Následuje seznam pověřených osob. Jejich seznam odpovídá době, kdy významná část diplomatické aktivity byla v rukou aristokracie. Tak například za Rakousko-Uhersko byl k podpisu pověřen Rudolf II. hrabě Apponyi (diplomat z uherského rodu Apponyiů, který od mládí působil v diplomatických službách a svou kariéru zakončil jako velvyslanec ve Francii v letech 1871–1876).



Obr. 5: Císař Rakousko-Uherska pověřuje Apponyiho podpisem úmluvy.

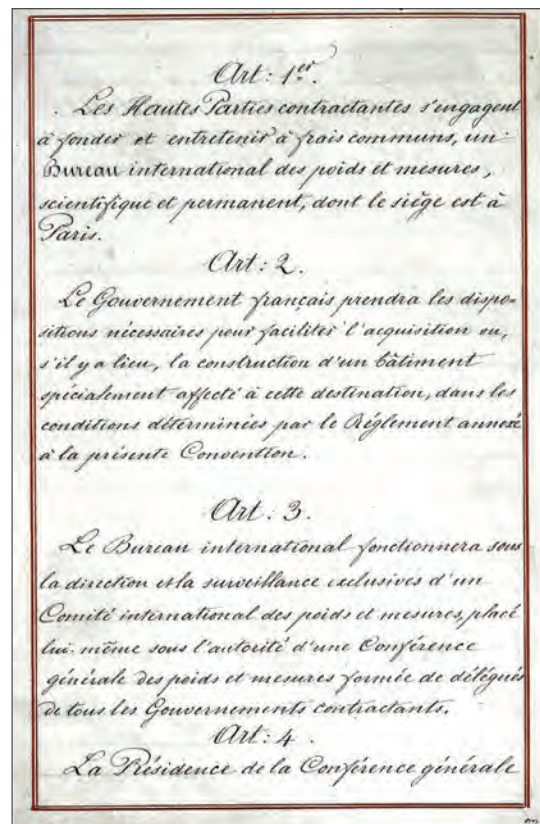
Poznámka: Francie byla v období kolem podpisu Metrické konvence republikou (tzv. *Třetí republika*), prezidentem byl Patrice de Mac-Mahon. V Rakousku-Uhersku již vládl císař František Josef I., v Německu Vilém I. Pruský (významný vliv měl kancléř Otto von Bismarck), v Rusku předposlední car Alexandr II. a v Británii stále královna Viktorie. Byla to doba plná zvratů a mezinárodního napětí. Na druhé straně – vznikala díla, která dodnes patří k základům evropské kultury (například Georges Bizet, Giuseppe Verdi, Edouard Manet, Fjodor Michailovič Dostojevskij, Lev Nikolajevič Tolstoj, Victor Hugo).

První tři články úmluvy se týkají zřízení Mezinárodního úřadu pro váhy a míry a stanoví strukturu a vztahy orgánů, které jsou až dodnes rozhodující pro mezinárodní spolupráci v metrologii. Vrcholným orgánem je Generální konference pro váhy a míry (CGPM). V současné době se schází každé čtyři roky.

Článek 1. Vysoké smluvní strany se zavazují, že zřídí a budou udržovati společným nákladem vědecký a stálý Mezinárodní úřad pro míry a váhy se sídlem v Paříži.

Článek 2. Vláda francouzská učiní nutná opatření pro snadnější zajištění, po případě vystavění budovy, k tomu účelu zvláště určené, podle podmínek obsažených v pravidlech, připojených k této úmluvě.

Článek 3. Mezinárodní úřad podléhá výhradnímu řízení a dohledu Mezinárodního výboru (CIPM) pro míry a váhy, který sám bude postaven pod pravomoc Generální konference pro míry a váhy, sestavené ze zástupců všech smluvních vlád.



Obr. 6: První tři články MK v originálu (kopie darovaná rakouským BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen))

Mezinárodní úřad pro váhy a míry získal od francouzské vlády budovu, známou jako Pavillon de Breteuil v Sévres na jižním okraji Paříže. Stavba vznikla v 17. století a ve víru událostí byla mnohokrát poničena, rekonstruována, měnila také uživatele. Během obléhání Paříže Prusy (1870 - 71) byl Pavillon de Breteuil vážně poškozen.



Obr. 7: Pavilon Breteuil v době po Prusko-francouzské válce a současný stav

V roce 1884 byla otevřena laboratorní budova s názvem *Observatoire*. Postupně byly doplňovány další laboratorní budovy. Postavení sídla BIPM vůči francouzské vládě bylo upraveno tak, že je nyní považováno za mezinárodní území a BIPM má všechna práva a výsady přiznané mezivládní organizaci.

Pro oficiální dokumenty používá BIPM známou pečeť, na níž je postava uprostřed alegorií vědy, držící nový metr s desetinným dělením. Vlevo sedí postava Merkura s nástroji geodzie (mapa, globus, měřicí přístroje), na pravé straně je alegorie průmyslu a řemesel (přeslice, kladivo, ozubené kolo).

Úkoly BIPM se zabývá článek 6. konvence: „Mezinárodní úřad pro míry a váhy má za úkol porovnávat a ověřovat veškeré nové prototypy metrů a kilogramů; uschovávat prototypy mezinárodní; porovnávat čas od času prototypy



Obr. 8: Pečeť BIPM. Řecký nápis na dolním okraji „μέτρο χρό“ (méτρο chró) znamená „užívej míru“.

národní s prototypy mezinárodními a jich kontrolními mírami, jakož i teploměry k nim přidané; porovnávat nové prototypy se základními mírami a váhami, které nejsou metrické a jichž se užívá v různých zemích a ve vědě; stanovit a porovnávat měřítka geodetická; porovnávat míry a váhy precizní, o jejichž ověření bude žádáno buď vládami, nebo vědeckými společnostmi nebo výrobci a učenici.“

Můžeme si povšimnout, že MK se nezabývá definicí metru nebo kilogramu, existence metrického systému se mlčky předpokládá. Byl v té době zaveden už v řadě zemí. Znění článku 6. má již spíše historický význam; koordinace prací, spolupráce s národními metrologickými instituty a řešení nových výzev ovšem zůstávají a působnost úřadu se postupně rozšiřuje. Zůstává struktura orgánů založených Metrickou konvencí, jak bylo uvedeno v článku 3.

Hlavním úkolem Mezinárodního výboru pro váhy a míry (CIPM, *Comité international des poids et mesures*) je podporovat celosvětovou jednotnost v měřicích jednotkách; činí tak přímou akcí nebo předkládáním návrhů rezolucí Generální konferenci. Skládá se z osmnácti osob, z nichž každá je jiné národnosti. Postupně vzniklo deset (stav 2024) poradních výborů, jejichž předsedové jsou jmenováni CIPM a obvykle jsou jeho členy. Poradní výbory se zřizovaly podle potřeby vývoje činnosti CIPM a působnosti BIPM.

Současné poradní výbory:

- CCEM pro elektřinu a magnetismus
- CCM pro hmotnost a související veličiny
- CCQM pro látkové množství, metrologii v chemii a biologii
- CCT pro termometrii
- CCU pro jednotky
- CCAUV pro akustiku, ultrazvuk a vibrace
- CCL pro délku
- CCPR pro fotometrii a radiometrii
- CCRI pro ionizující záření
- CCTF pro čas a frekvenci

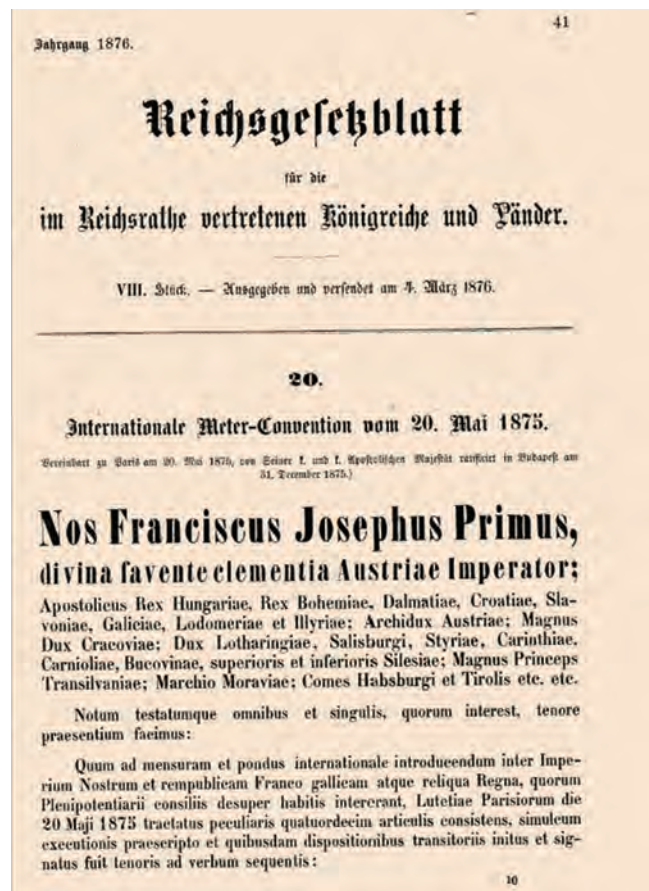
Metrická konvence již na počátku předpokládala doplnění systému základních jednotek, v článku 7. se uvádí: „Až komitét překročí k jednotné úpravě měř pro jednotky elektrické a až se Generální konference jednohlasně o tom usnese, bude úřadu uloženo, aby pořídil a uschovával vzorné míry elektrických jednotek ...“. K tomu ovšem došlo mnohem později.

Po podpisu Metrické konvence následovala postupně ratifikace úmluvy v jednotlivých zemích a většinou i legislativním aktem uzákonění metrických jednotek, pokud ovšem k tomuto kroku nedošlo již dříve, jako například v Rakousku-Uhersku.

3. Vývoj po roce 1875

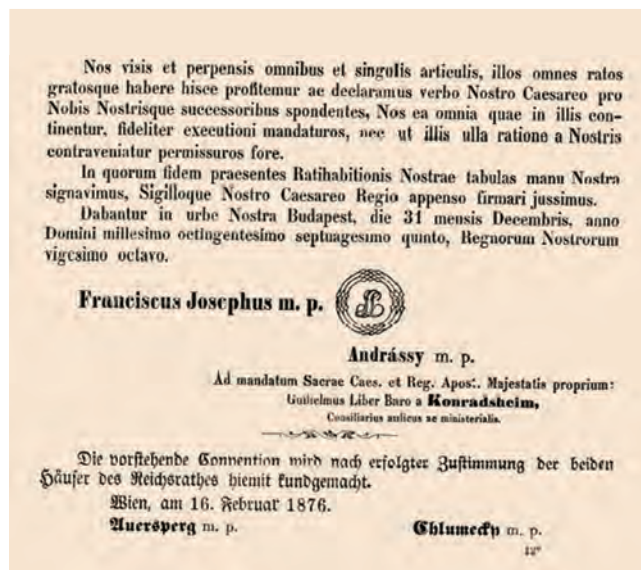
Po podpisu Metrické konvence pokračuje systematický rozvoj metrologie mimo jiné díky působení Mezinárodního úřadu pro váhy a míry a Mezinárodního výboru pro váhy a míry CIPM. V této kapitole připomeneme některé důležité momenty.

1876 V Rakousku-Uhersku byl publikován plný text Metrické konvence zákonem č. 20, (rakouský říšský zákoník, RGBl 20. 1876) a ve Sbírce zákonů uherských jako zákoný článek II. z roku 1876. Text zákona zrcadlí státoprávní uspořádání soustátí, ve kterém měla uherská část až na výjimky odlišný právní systém než část rakouská. Snad proto jsou úvodní a závěrečné části psány latinsky, v úřední řeči uherské části.



Obr. 9: Vyhlášení Metrické konvence v Rakousku

My, kteří jsme viděli a porozuměli všem a jednotlivým článkům, prohlašujeme, že je všechny pro nás a naše nástupce potvrdíme a přijmeme naším císařským slovem, a že nebudou žádným způsobem porušovány. V této věře jsme podepsali tyto ratifikace vlastní rukou a nařídili jsme, aby byly potvrzeny naší královskou císařskou pečeti.



Obr. 10: Podpisová část zákona o zveřejnění Metrické konvence

Dáno v našem městě Budapešti dne 31. prosince léta Páně tisíc osm set sedmdesát pět, dvacátého osmého dne našeho království, po schválení oběma komorami Říšské rady. Oznámeno ve Vídni 16. února 1876.

Podpisy v.r. František Josef a Andrassy.

Poznámka: Gyula Károly hrabě Andrassy, rakousko-uherský státník. V době podpisu MK byl ministrem zahraničí. Zajímavé je, že jak Andrassy, tak Apponyi (pověřený podpisem MK) mají vztah k Slovensku – rodina Apponyi měla hlavní sídlo v obci Oponice, predikát rodu Andrassy zase obsahuje část „Krasznahorka“, označení hradu poblíž Rožňavy.

1880 Velikosti koherentních jednotek CGS v oblasti elektřiny a magnetismu se ukázaly jako nevyhovující, takže v 80. letech 19. století BAAS (*British Association for the Advancement of Science*) a Mezinárodní elektrotechnický kongres schválily systém tzv. *praktických jednotek*. Mezi ně patřil ohm pro elektrický odpor, volt pro elektromotorické napětí a ampér pro elektrický proud.

1889 První Generální konference pro váhy a míry (CGPM) schválila nové mezinárodní prototypy metru a kilogramu. Spolu se sekundou, definovanou v astronomii, byl vytvořen systém analogický systému CGS, avšak se základními jednotkami metr, kilogram a sekunda, systém MKS.

1901 Giovanni Giorgi (italský fyzik a elektrotechnický inženýr, 1871–1950) poukázal v roce 1901 na možnost sloučit mechanický systém MKS s praktickým systémem elektrickým a vytvořit tak čtyřrozměrný systém přijetí čtvrté základní jednotky z oblasti elektrických veličin a racionalizovat vztahy používané v elektromagnetismu. Giorgiho návrhy byly základem dalšího vývoje, který vedl až k přijetí systému SI.

Poznámka: Zde kvůli souvislostem mimo chronologické řazení. V návaznosti na úpravu Metrické konvence z roku

1921 byl v roce 1927 vytvořen Poradní výbor pro elektřinu (CCE). V roce 1935 byl přijat Mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) *MKS System of Giorgi*, aniž by bylo specifikováno, která elektromagnetická jednotka bude čtvrtou základní jednotkou. Giorgiho návrhy byly dále diskutovány IEC a IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics). To vedlo k návrhu CCE, podanému v roce 1939, na přijetí systému se čtyřmi základními jednotkami, totiž metrem, kilogramem, sekundou a ampérem. Tento systém byl pak přijat Mezinárodním výborem pro váhy a míry v roce 1946.

1913 Generální konference doporučila, aby Mezinárodní výbor zmocnil BIPM k tomu, aby organizoval oběh přesně vymezených invarových vláken, aby bylo možné dosáhnout dohody o stanovení principů Mezinárodní teplotní stupnice.

V BIPM byl uložen první etalon ionizujícího záření vytvořený Marií Curie a André Debiernem. Byl součástí mezinárodních měření na 50 let.

1914 Mezinárodní spolupráci narušila první světová válka, takže Generální konference se znovu sešla až v roce 1921.

1921 Na 6. zasedání CGPM byla přijata revize Metrické konvence. V první řadě se úpravou rozšiřuje působnost BIPM do nové oblasti elektrických a magnetických veličin a ukládá se mu stanovení fyzikálních konstant, jejichž přesnější znalost může přispět ke zvýšení přesnosti a zajištění jednotnosti měření v nově zařazených oborech. Úřad se má také věnovat koordinaci prací, prováděných jinými institucemi. Další úpravy textu MK se týkaly přístupu dalších států, příspěvků na provoz orgánů MK a pravidel činnosti CIPM.

Připojen byl dodatek, který zní: „Každý stát může přistoupit k této Konvenci tím, že předá svou přihlášku francouzské vládě, která o tom pak informuje všechny zúčastněné státy a předsedu Mezinárodního výboru pro váhy a míry“.

1922 Československá republika, jako nově vzniklý státní útvar, přistoupila k MK.

Vyhláška ministra zahraničních věcí (Dr. Edvarda Beneše) ze dne 24. listopadu 1922, č. 351 Sb. zákonů a nařízení státu československého, uvádí tuto posloupnost legislativních aktů:

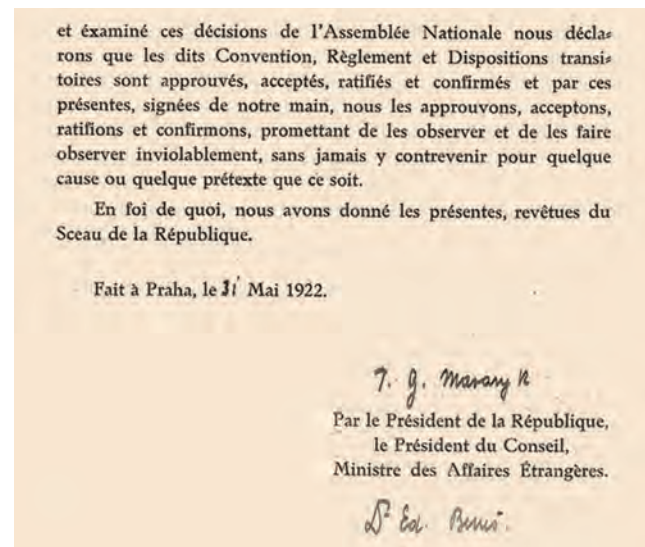
- Usnesení Národního shromáždění ze dne 17. února 1922 o přistoupení k MK
- Ratifikační listina z 31. května 1922
- Přístupní nota československá z 21. června 1922, která byla uložena v archivu francouzské vlády dne **23. září 1922**, čímž přístup nabyl mezinárodní platnosti.

Posledním krokem pak bylo zveřejnění Vyhlášky ministra zahraničních věcí č. 351/1922 Sb. o přístupu Československé republiky k mezinárodní úmluvě, sjednané 20. května 1875 v Paříži, a vyhláška ministra zahraničních věcí ze dne 28. srpna 1924, kterou bylo zveřejněno platné znění MK.

... a po přezkoumání těchto rozhodnutí Národního shromáždění prohlašujeme, že uvedené úmluvy, nařízení a přechodná ustanovení jsou schválena, ratifikována a potvrzena a těmito dokumenty, podepsanými naší rukou, je schvalujeme, ratifikujeme a potvrzujeme a slibujeme, že

je budeme dodržovat a zajistíme, aby byly zachovávány nedotknutelně, aniž bychom je kdy z jakéhokoli důvodu nebo předstírání porušili.

Na důkaz toho jsme zde uvedli pečeť republiky.



Obr. 11: Ratifikace MK v Československu

1927 Na 7. zasedání CGPM byl založen poradní výbor pro elektřinu CCE, jak bylo již výše zmíněno v souvislosti s návrhy Giorgiho; byl navržen systém se základními jednotkami metr, kilogram, sekunda a ampér, čili MKSA. Mezinárodním výborem CIPM byl pak této systém přijat v roce 1946.

1933 8. zasedání Generální konference se zabývalo potřebou absolutní elektrické jednotky. Byl také vytvořen Poradní výbor pro fotometrii CCP, jehož první zasedání se uskutečnilo v r. 1937. Od roku 1971 se stal Poradním výborem pro fotometrii a radiometrii.

1939 Další práce byly narušeny druhou světovou válkou, takže se Generální konference mohla sejít teprve v roce 1948.

1946 CIPM přijal definice fotometrických jednotek s platností od r. 1948 a přijal systém MKSA podle návrhů z roku 1927.

1948 Důležité 9. zasedání CGPM pověřilo CIPM přípravou vytvoření **praktické soustavy jednotek**. Byly definovány ampér, bar, coulomb, farad, henry, joule, newton, ohm, volt, watt, weber.

1954 Na svém 10. zasedání schválila CGPM zavedení základních jednotek ampér, kelvin a kandela. Praktická soustava jednotek tak měla základní jednotky pro šest veličin – pro hmotnost, délku, čas, elektrický proud, termodynamickou teplotu a svítivost.

1960 11. Generální konference zavedla název **mezinárodní soustava jednotek SI** pro systém založený na šesti základních jednotkách, uvedených výše (1954).

Metr byl nově definován pomocí vlnových délek světla. Byly přijaty jednotky hertz, lumen, lux, tesla.

Poznámka: Podle definice přijaté v roce 1960 byl metr délka, rovná 1 650 763,73 vlnové délky záření širícího se ve vakuu, které odpovídá přechodu mezi hladinami $2p_{10}$ a $5d_5$ atomu kryptonu 86.

1967 CGPM přijala novou definici sekundy, založenou na frekvenci hyperjemného přechodu v základním stavu atomu cesia 133.

1971 14. CGPM přijala jako sedmou základní jednotku mol pro látkové množství. Soubor základních jednotek se od té doby nezměnil, ovšem jejich definice postupně ano.

1979 Kandela byla předefinována na základě monochromatického záření. Definován byl také sievert.

1983 První základní jednotka SI byla definována na základě fundamentální konstanty, rychlosti světla. Metr je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za $1/299\,792\,458$ s. Rychlost světla má pevnou číselnou hodnotu $c = 299\,792\,458$ m/s.

1988 Mezinárodní výbor pro váhy a míry přijal konvenční hodnoty pro Josephsonovu konstantu K_J , a pro von Klitzingovu konstantu R_K , v rámci příprav na alternativní definice ampéru a kilogramu.

1993 V roce 1993 musela Česká republika, jako nově vzniklý stát, znovu přistoupit k Metrické konvenci. Dne 21. prosince 1992 byl vydán dokument vlády České republiky ve znění: „*Vláda České republiky tuto Mezinárodní úmluvu přezkoumala a v souladu s českými právními předpisy k ní přistupuje podle ustanovení jejího článku 11, s platností od 1. ledna 1993.* Dáno v Praze dne 21. prosince 1992. Podepsán ministr mezinárodních vztahů Josef Zielenec.“

Dne 18. března 1993 oznamuje MZV Francie uložení přístupového dokumentu ČR (sdělení zapsáno v BIPM 23. března 1993). Podle toho se za datum přístupu ČR k MK pokládá **18. březen 1993**. Podle BIPM se ale Česká republika stala členským státem 13. ledna 1993. Takže si mezi termíny lze vybrat. Samozřejmě s přihlédnutím k situaci, kdy se Česká republika jako součást federace mění od 1. ledna 1993 na samostatný stát. Například: Ústava České republiky byla přijata jako ústavní zákon Českou národní radou 16. prosince 1992 (vyhlášeno 28. 12. 1992, s datem účinnosti 1. 1. 1993). Proti roku 1922 bylo úřadování, jak je vidět, mnohem méně formální.

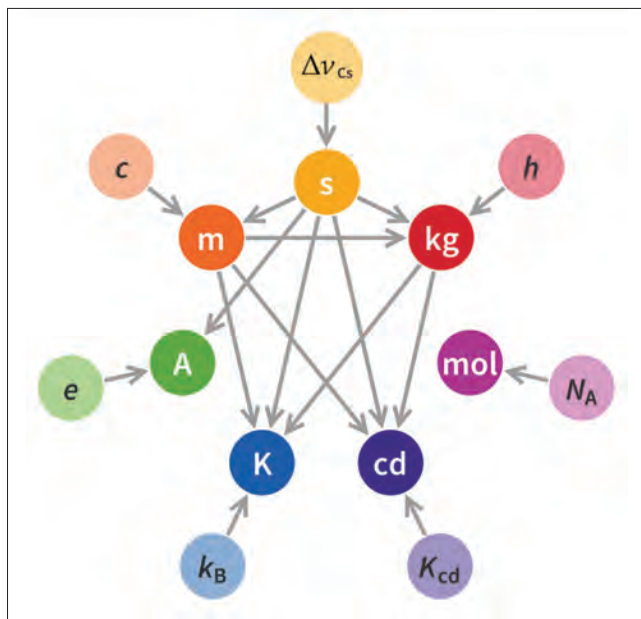
1999 CIPM vypracoval dokument *Vzájemné uznávání národních etalonů, kalibrací a certifikátů vydávaných národními metrologickými instituty*. Dokument je otevřený k podpisu řediteli NMI zemí, které jsou signatáři MK. Ujednání zavádí principy mezinárodních porovnávaní a databázi měřících schopností vedenou BIPM.

2011 24. CGPM přijala princip nové definice jednotek SI, založené na použití univerzálních konstant. V té době ještě nebyly experimenty s určením jejich hodnot dostatečně konzistentní, ale návrh na revizi definic jednotek SI byl v zásadě přijat.

2014 Na 25. zasedání CGPM byla diskutována redefinice kilogramu prostřednictvím Planckovy konstanty, ale nebylo o ní rozhodnuto. Byl oceněn pokrok k realizaci nové definice, došlo se však k závěru, že údaje se zatím nejeví jako dostatečně spolehlivé.

2018 26. Generální konference pro váhy a míry schválila změny definic základních jednotek SI, s účinností od 20. května 2019. Došlo tak k nejvýznamnější úpravě mezinárodní soustavy jednotek od jejího zavedení. Nově jsou všechny základní jednotky pevně navázány na vybrané

fyzikální a technické konstanty, jejichž velikosti jsou definicí fixovány. Časopis Metrologie věnoval tomuto tématu řadu příspěvků, viz např. [3], [4].



Obr. 12: Vztahy mezi jednotkami podle přijatých definic. Převzato z [9]

2024 CIPM založil *Fórum pro metrologii a digitalizaci*, které poskytuje poradenství v oblasti digitálního rámce SI a širších důsledků globální digitální transformace pro metrologii a pro mezinárodní infrastrukturu kvality. K tomu patří i *Referenční bod SI*, což je sada nástrojů navržených tak, aby poskytovaly směrodatnou digitální referenci pro mezinárodní soustavu jednotek, tradičně vydávanou BIPM ve formě brožury SI. Referenční bod SI je navržen tak, aby byl plně „fair“, spolehlivý, a strojově čitelný. Aby se dosáhlo největší účinnosti, s jakou jsou informace používány v novém digitálním světě, je nezbytné, aby všechny zdroje informací byly nejen čitelné pro člověka, ale také dostupné ve formátech, které mohou být čteny stroji. V takovém případě by na ně mohly reagovat i stroje a mohly by být použity jako základ pro nové aplikace umělé inteligence.

Digitální rámec bude založen na základní reprezentaci SI, včetně dohodnutých formátů pro základní datové prvky včetně hodnot, jednotek a nejistot na základě brožury SI. Umožní implementaci nových služeb NMI, BIPM a souvisejících organizací, které nejlépe využijí otevřené datové formáty, softwarové nástroje a služby.[6]

Závěrem

Připomenuli jsme si 150. výročí podepsání Metrické konvence, nejen abychom se zamysleli nad tím, jak daleko jsme došli, ale také abychom se připojili k vzrušující cestě, která je před námi. Ukazuje se, že mezinárodní spolupráce, založená touto úmluvou, je stále živá a významně přispívá k pokroku vědy o měření i k rozvoji praktických aplikací. Zejména je to zřetelné na vývoji v posledních letech, kdy se naplnil prapůvodní ideál odvození jednotek měření

od univerzálních konstant, nezávislých na fyzických artefaktech nebo dokonce na rozměrech lidského těla.

Vývoj metrologie se nezastaví, musí reagovat na nové požadavky a podněty vyvolávané novými technologiemi a vědeckými poznatky. Ani soustava SI se dalším zdokonalování nevyhne. Příkladem mohou být současné práce Poradního výboru pro čas a frekvenci CCTF na aktualizaci definice sekundy v souladu s významnými zlepšeními v oboru atomových hodin. Přitom jde o dlouhou cestu, která může být zakončena redefinicí sekundy kolem roku 2030.

Zdroje:

- [1] Vyhláška ministra zahraničních věcí č. 200 Sb. z. a n. ze dne 28. srpna 1924, kterou se uvádí ve známost nynější znění mezinárodní úmluvy o soustavě metrické.
- [2] Vyhláška ministra zahraničních věcí č. 351/1922 Sb. o přístupu Československé republiky k mezinárodní

úmluvě, sjednané dne 20. května 1875 v Paříži, o soustavě metrické.

- [3] KLENOVSKÝ, Pavel. Nové definice základních jednotek soustavy SI. *Metrologie*, roč. 2019, č. 1.
- [4] VESELÁK, Zbyněk a JELÍNEK, František. Základní měřicí jednotky. *Metrologie*, roč. 2020, č. 2.
- [5] SLABOCH, Václav. Metrická konvence ve vědě a praxi z pohledu geodeta, VÚGTK, přednáška na Konferenci ke 130. výročí Metrické konvence, Praha, 2005
- [6] BIPM SI Digital Framework. <https://si-digital-framework.org>
- [7] BIPM150 Home Page. <https://thebipm150.org/history> (accessed Feb 10, 2025).
- [8] Österreichische Nationalbibliothek. ALEX, Historische Rechts- und Gesetzestexte Online, 1856/124, 1856/156, 1857/5
- [9] Wikipedia. 2019 revision of the SI. dostupné na https://en-wikipedia.org/wiki/2019revision_of_the_SI



STAROPŘÍSTUPOVÉ SMĚRNICE

Ing. Zbyněk Veselák

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví



Podpis smlouvy zakládající Evropské hospodářské společenství a Euratom v Římě

Hospodářská integrace v Evropě, která započala spoluprací v rámci Evropského společenství uhlí a oceli (1951) a pokračovala spoluprací v rámci Evropského hospodářského společenství (EHS) a Evropského společenství pro atomovou energii (Euratom) (obě 1957), se postupně rozšiřovala na další a další hospodářské oblasti. Jednou z oblastí byl volný obchod se zbožím v rámci společného trhu. Pro vybrané komodity (sektory výrobků) byly specifikovány jednotné požadavky, zakotvené v předpisech EHS. Princip volného pohybu zboží, který odstraňoval technické překážky na **společném trhu**, pokračoval i po roce 1993, kdy se podepsáním Maastrichtské smlouvy Evropské hospodářské společenství integrovalo do Evropského společenství (ES), spadající pod tzv. I. pilíř Evropské unie. Po podepsání (2007) a ratifikaci (2009) Lisabonské smlouvy Evropské společenství zaniklo a právním nástupcem se stala Evropská unie (EU).

Přizpůsobením právního řádu České republiky právnímu systému Evropské unie došlo i k transpozici právních předpisů v oblasti metrologie včetně měřidel. Evropská harmonizace na společném trhu s měřidly byla obsažena ve **směrnici Rady 71/316/EHS** ze dne 26. července 1971 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se společných ustanovení pro měřicí přístroje a pro metody metrologické kontroly. Tato směrnice, později několikrát změněná, byla v České republice transponována **vyhláškou č. 332/2000 Sb.**, kterou se stanoví některé postupy při schvalování typu a ověřování stanovených měřidel označovaných značkou EHS. Tato vyhláška, dosud platná, zapracovává příslušné předpisy Evropských společenství do právního rámce České republiky a stanoví postupy při:

- a) schvalování typu měřidel v případech, kdy jsou požadavky na ně stanoveny zvláštním právním předpisem,^{1b)} (**EHS schvalování typu**),
 b) ověřování měřidel v případech, kdy jsou požadavky na ně stanoveny zvláštním právním předpisem,^{1b)} (**prvotní EHS ověření**).

EHS schvalování typu a prvotní EHS ověření lze provádět na žádost výrobce namísto schvalování typu měřidla a ověřování měřidla podle zvláštního právního předpisu (zákon o metrologii).

Pozn.: Odkaz na právní předpis 1b) je odkazem na vyhlášky, které transponovaly tzv. zvláštní směrnice ke směrnici 71/316/EHS. Například vyhláška č. 333/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na teplou vodu označované značkou EHS, vyhláška č. 334/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na studenou vodu označované značkou EHS, vyhláška č. 338/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na elektroměry označované značkou EHS, vyhláška č. 336/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na plynoměry označované značkou EHS, vyhláška č. 339/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na hmotné délkové měřky označované značkou EHS, vyhláška č. 335/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na taxametry označované značkou EHS, vyhláška č. 337/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na měřidla označovaná značkou EHS používaná pro měření tlaku vzduchu v pneumatikách silničních vozidel.

Vzor značky EHS/ES schválení typu



- x – velké písmeno pro rozlišení státu, který certifikát EHS schválení typu vydal a poslední dvě číslice roku schválení typu, např. CZ 04
 y – identifikační číslo EHS schválení typu, které přiděluje subjekt, který schválení typu provedl

Příklad značky prvotního EHS ověření/ES prvotního ověření



Směrnice Rady 71/316/EHS byla v roce 2009 zrušena a nahrazena **směrnici** Evropského parlamentu a Rady **2009/34/ES**, o společných ustanoveních pro měřicí přístroje a pro metody metrologické kontroly. Stále se však jedná o původní technické požadavky Společenství na konstrukci a činnost přístrojů, které by měly zajistit, že tyto přístroje budou poskytovat spolehlivá měření, která jsou dostatečně přesná pro určený účel. Tedy o požadavky obsažené ve **zvláštních směrnících ke směrnici 71/316/EHS**. Směrnice 2009/34/ES se nově stala „rámcovou“ směrnicí pro harmonizaci v oblasti metrologie, protože se vztahuje na

- a) měřidla
 b) jednotky měření
 c) předpisy, metody měření, metrologickou kontrolu a označování množství výrobků v hotovém balení.

Termíny EHS schvalování typu a prvotní EHS ověření byly nahrazeny termíny ES schvalování typu a ES prvotní ověření. ES schválení typu je udělováno členskými státy podle směrnice 2009/34/ES a příslušných zvláštních směrnic (vydaných původně ke směrnici 71/316/EHS).

V případě EHS schvalování typu (ES schvalování typu) a prvotního EHS ověření (ES prvotní ověření) se jedná o dobrovolný systém. Pokud je však přístroj nebo výrobek opatřen značkami nebo označením EHS (ES) v souladu s podmínkami stanovenými v směrnici 71/316/EHS (2009/34/ES) a zvláštních směrnicích, které se na tento přístroj nebo výrobek vztahují, žádný členský stát ES (EU) nesmí bránit jejich uvádění na trh nebo do provozu.

Zvláštní směrnice však specifikovaly požadavky na metrologické vlastnosti a technické vlastnosti způsobem, který není vstřícný k technickému pokroku (směrnice EHS byly vydávány v sedmdesátých letech 20. století). Proto byl formát stanovení požadavků na měřidla uplatněný ve zvláštních směrnicích nahrazen tzv. Novým přístupem a později Novým legislativním rámcem (tzv. NLF – New Legislative Framework). V novém formátu byly přijaty i směrnice o vahách s neautomatickou činností (směrnice **2009/23/ES**, známá jako **NAWID**) nebo směrnice o měřicích přístrojích (směrnice **2004/22/ES**, známá jako **MID**), které pro uvádění na trh již zavedly, mimo jiné, metody posouzení shody a označení CE. Po změně přístupu k právnímu zakotvení požadavků na měřidla se pro právní předpisy dřívějšího přístupu (EHS/ES) vžilo označení „**staropřístupové**“ **směrnice** nebo směrnice „starého přístupu“.

Směrnice 2004/22/ES byla do českého právního řádu transponována nařízením vlády č. **464/2005 Sb.**, kterým se stanoví technické požadavky na měřidla v návaznosti na zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů.

Směrnice MID a NAWID, obsahující požadavky na měřidla v novém formátu, logicky zrušily „staropřístupové“ směrnice včetně data účinnosti jejich zrušení. Směrnice MID tak ve svém článku 22 zrušila s účinností od 30. října 2006 tyto směrnice (zvláštní směrnice ke směrnici 71/316/EHS):

- směrnici Rady 71/318/EHS ze dne 26. července 1971 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **plynoměrů**
- směrnici 71/319/EHS ze dne 26. července 1971 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **průtokoměrů pro kapaliny jiné než voda**
- směrnici 71/348/EHS ze dne 12. října 1971 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **přídavných zařízení k průtokoměrům pro kapaliny jiné než voda**
- směrnici 73/362/EHS ze dne 19. listopadu 1973 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **hmotných délkových měrek**
- směrnici 75/33/EHS ze dne 17. prosince 1974 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **vodoměrů na studenou vodu, pokud jde o měřidla definovaná v příloze MI-001** směrnice 2004/22/ES
- směrnici 75/410/EHS ze dne 24. června 1975 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **kontinuálních součtových měřicích zařízení**

- směrnici 76/891/EHS ze dne 4. listopadu 1976 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **elektroměrů**
- směrnici 77/95/EHS ze dne 21. prosince 1976 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **taxametrů**
- směrnici 77/313/EHS ze dne 5. dubna 1977 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **měřicích systémů pro kapaliny jiné než voda**
- směrnici 78/1031/EHS ze dne 5. prosince 1978 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **automatických kontrolních a třídících vážicích zařízení a**
- směrnici 79/830/EHS ze dne 11. září 1979 o sblížení právních předpisů členských států týkajících se **vodoměrů na teplou vodu**.

Současně se zrušením směrnic platilo i přechodné ustanovení, podle kterého musely členské státy povolit uvádění na trh a do provozu měřicích přístrojů, které vyhovovaly pravidlům platným před 30. říjnem 2006, až do uplynutí platnosti schválení typu těchto měřicích přístrojů, nebo v případě schválení typu s neomezenou platností po dobu nejdéle deseti let od 30. října 2006. Od 1. listopadu 2016 tedy nebylo možné na trh uvádět na trh a do provozu měřicí přístroje podle výše uvedených zrušených směrnic ve spojení se směrnicí 71/316/EHS (2009/34/ES).

Směrnice MID ovšem pokrývá pouze některé druhy měřidel (viz její čl. 1, oblast působnosti), a to zařízení a systémy s měřicí funkcí definované ve zvláštních přílohách pro přístroje, a sice **vodoměry (MI-001), plynoměry a přepočítávače množství plynu (MI-002), elektroměry k měření činné energie (MI-003), měřiče tepla (MI-004), měřicí systémy pro kontinuální a dynamické měření množství kapalin jiných než voda (MI-005), váhy s automatickou činností (MI-006), taxametry (MI-007), hmotné měřky (MI-008), přístroje pro měření rozměrů (MI-009) a analyzátory výfukových plynů (MI-010)**.

Pozn.: Po tzv. recastu směrnice MID, kdy směrnice 2004/22/ES nahradila směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/32/EU o dodávání měřidel na trh, zůstal rozsah působnosti nezměněn. Do českého právního řádu je směrnice 2014/32/EU transponována nařízením vlády č. 120/2016 Sb., o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh. Ke změně rozsahu působnosti směrnice může v nejbližší době dojít na základě přijetí návrhu na „technickou“ změnu MID, který v tomto roce projednává Rada a Parlament EU.

Druhy měřidel, jejichž vlastnosti byly stanoveny ve „staropřístupových“ směrnicích a které nebyly zahrnuty ve směrnici MID, bylo možné nadále uvádět na trh. To se změnilo přijetím směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/17/EU, která zrušila (zbývající) zvláštní „staropřístupové“ směrnice Rady: 71/317/EHS, 71/347/EHS, 71/349/EHS, 74/148/EHS, 75/33/EHS, 76/765/EHS, 76/766/EHS a 86/217/EHS, a to s účinností od 1. prosince 2015. Podobně jako v případě směrnice MID bylo v přechodném období povoleno uvádět na trh měřidla, jejichž



Rada EU v Bruselu



Budovy Evropského parlamentu ve Štrasburku a v Bruselu

certifikáty ES schválení typu nebo ES prvotní ověření zůstaly v platnosti, a to takto:

- ES prvotní ověření provedená a kalibrační certifikáty vydané do 30. června 2011 na základě směrnice 71/349/EHS (o sblížení právních předpisů členských států týkajících se kalibrace **nádrží na plavidlech**) zůstávají v platnosti
- ES schválení typu a ES certifikáty schválení typu vydané do 30. listopadu 2015 na základě směrnic 71/347/EHS, 75/33/EHS, 76/765/EHS a 86/217/EHS zůstávají

v platnosti až do doby ukončení platnosti certifikátů schválení typu těchto měřidel (pozn.: Vzhledem k maximální době platnosti vydávaných certifikátů, která je 10 let, lze ukončení platnosti vztáhnout ke dni **30. listopadu 2025.**)

Jde o:

- o směrnice 71/347/EHS týkající se **měření objemové hmotnosti obilí**
 - o směrnice 75/33/EHS týkající se **vodoměrů na studenou vodu** (mimo MID)
 - týká se pouze vodoměrů založených na přímém mechanickém principu
 - o směrnice 76/765/EHS týkající se **lihoměrů a hustoměrů na lih**
 - o směrnice 86/217/EHS týkající se **měřidel tlaku vzduchu v pneumatikách motorových vozidel**
- **závaží** vyhovující směrnici 71/317/EHS a závaží vyhovující směrnici 74/148/EHS mohou být **do 30. listopadu 2025** předmětem ES prvotního ověření.

Pozn.: Směrnice Rady 76/766/EHS se týká lihoměrných tabulek. Mezinárodní normy pro lihoměrné tabulky jsou stejné jako normy ve směrnici 76/766/EHS a mohou být nadále základem pro vnitrostátní právní úpravu.

Do právního řádu České republiky byly „staropřístupové“ směrnice transponovány vyhláškami Ministerstva průmyslu a obchodu (viz rubrika Právní předpisy v oblasti metrologie na webových stránkách ÚNMZ: <https://unmz.gov.cz/metrologie/metrologicky-system/pravni-predpisy-v-oblasti-metrologie/>).

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/17/EU byla transponována **vyhláškou č. 125/2015 Sb.**, kterou se mění vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 262/2000 Sb. a kterou se zrušují některé vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu (právě vyhlášky k oněm „staropřístupovým“ směrnicím). Transponována byla samozřejmě i přechodná ustanovení.

Z výše popsanych důvodů nelze **od 1. prosince 2025** uvádět na trh EU měřidla s ES schválením typu a/nebo s ES prvotním ověřením. Není ovšem vyloučeno, že se s takovými měřidly uživatelé mohou i po tomto datu setkat v distribuční síti nebo u prodejců. Účinek zrušení zvláštních směrnic a přechodných ustanovení se totiž vztahuje na uvedení (první dodání) měřidel na trh a neznamená stažení výrobků, které jsou již v obchodní síti. V každém případě nemůže být na trhu měřidlo, které je označeno tak, že poslední dvě číslice roku ES schválení typu a/nebo ES prvotního ověření jsou 26 a výše.

A na závěr je zde otázka, zda dojde k převedení kategorií měřidel, specifikovaných ve „staropřístupových“ směrnicích, do směrnic nového přístupu, tzn. zda bude zachována harmonizace při jejich uvádění na společný trh EU, nebo zda předmětné kategorie měřidel budou předmětem národní úpravy v jednotlivých členských státech EU (předpokladem je, že jsou měřidla určena k měření ve veřejném zájmu). Odpovědi jsou již přes dvě desetky let účinné směrnice MID a NAWID, které převzaly většinu kategorií

měřidel „staropřístupových“ zvláštních směrnic a dále princip vzájemného uznávání zboží uvedeného v souladu s právními předpisy na trh v jiném členském státě, který je zakotven v nařízení Evropského parlamentu a Rady 2019/515 ze dne 19. března 2019. Samozřejmě nelze vyloučit ani doplnění směrnice MID.

Zatímco původní směrnice MID (směrnice 2004/22/ES) obsahovala ustanovení, které ukládalo Evropské komisi vypracovat zprávu o provádění směrnice 2004/22/ES, přepracovaná směrnice MID (směrnice 2014/32/EU) již obdobně ustanovení neobsahuje. Na otázku dostatečnosti směrnice MID, tzn. zda v současnosti jsou či nejsou identifikovány mezery či nedostatky v harmonizaci uvádění měřidel na trh EU, by však měla dát odpověď zpráva o přezkumu směrnic MID a NAWID, který Evropská komise zadala společnosti CSES (Centre for Strategy & Evaluation Services) a který byl zahájen v roce 2023. Zprávu by Evropská komise měla obdržet v roce 2025 a po jejím vyhodnocení by měla rozhodnout, zda budou zahájeny kroky k revizi předmětných směrnic. Jak je uvedeno výše, ke změně/doplnění v případě směrnice MID však může dojít již v blízké době (viz také článek „Příprava změny směrnice EU o měřidlech“ v čísle 1/2025 časopisu Metrologie) v souvislosti s „technickou“ změnou MID.



Sídlo Evropské komise v Bruselu

POUŽITELNOST A ZPŮSOBILOST MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ (DLE EN ISO 14253-1 A ISO 22514-7)

Ing. Jan Šrámek, Ph.D.

doc. Ing. Róbert Jankovych, CSc.

ČMI OI Brno, FSI - VUT v Brně

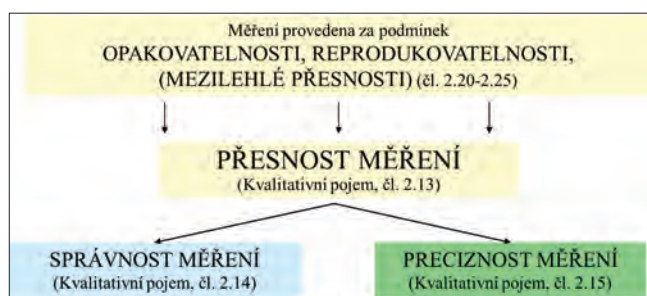
Úvod

Článek shrnuje principy validace měřicího systému dle chybového a nejistotového přístupu. Upozorňuje na fakt, že nekritické trvání na splnění požadavků zákazníků dle VDA-5 [9], příp. nejnovější normy v této oblasti ISO 22514-7:2021 [7] může zpochybnit používání životaschopných měřicích systémů. Uvedený fakt je podroben kritické analýze v souladu se systémem posouzení shody se specifikací dle normy ČSN ISO 14253-1:2023 [8]. Pro názornost je analýza realizována na vybraných pracovních měřidlech délky – posuvných měřidlech a třmenových mikrometrech. Součástí článku je i podrobná rešerše problematiky stanovení indexů způsobilosti měřidla, posouzení vhodnosti měřicího systému a měřicího procesu a prokazování shody se specifikací dle ČSN ISO 14253-1:2023 [8].

V závěru je uveden doporučený postup na hodnocení použitelnosti a způsobilosti měřicího systému v závislosti na poměru velikosti pole přijetí k uvažované toleranci měřeného rozměru.

1 Index způsobilosti měřicího systému C_g a C_{gk}

Pro posouzení způsobilosti daného měřicího systému (též MS) můžeme v praxi využívat indexy způsobilosti měřidla C_g a C_{gk} ve smyslu **obr. 1.1**. V závorce jsou u jednotlivých pojmů uvedena čísla příslušných článků mezinárodního metrologického slovníku VIM - TNI 01 0115:2009 [4].



Obr. 1.1: Pojmy přesnost, správnost a preciznost měření dle VIM

Způsobilost měřicího systému C_g a C_{gk} (gauge capability) můžeme chápat jako schopnost MS trvale dosahovat při měření očekávané hodnoty měřené veličiny ve smyslu:

- dosahování referenční hodnoty měřené veličiny (reprezentované etalonem) a
- udržení povolené míry variability naměřených hodnot.

Z hlediska matematiky se jedná o specifickou aplikaci teorie chyb měření a teorie statistického řízení procesu měření.

Přitom předpokládáme nenulovou hodnotu míry variability – výběrovou směrodatnou odchylku naměřených hodnot s_g , která je poměřována se stanoveným pásmem (zlomkem) tolerance. Index způsobilosti měřicího systému C_g hodnotí přesnost MS ve smyslu vztahu:

$$C_g = \frac{0,2TOL}{6s_g}, \quad (1.1)$$

kde TOL = toleranční pole měřeného rozměru (specified tolerance range),

s_g = směrodatná odchylka naměřených hodnot (standard deviation of the measurement values).

Toleranční pole měřeného rozměru je definováno jako rozdíl horní meze specifikace (USL) a dolní meze specifikace (LSL):

$$TOL = USL - LSL. \quad (1.2)$$

Index způsobilosti měřicího systému C_{gk} hodnotí jediným číslem správnost i preciznost MS ve smyslu vztahu:

$$C_{gk} = \frac{0,1TOL - |\bar{x}_g - x_c|}{3s_g} \quad (1.3)$$

kde \bar{x}_g = průměrná naměřená hodnota (average measurement value),

x_c = hodnota etalonu (standard's true value).

V čitateli vztahu (1.3) představuje výraz $|\bar{x}_g - x_c|$ ohodnocení správnosti měření dle **obr. 1.1** a výběrová směrodatná odchylka naměřených hodnot s_g hodnotí preciznost měření.

Indexy způsobilosti měřicího systému C_g a C_{gk} ve smyslu vztahů (1.1) a (1.3) posuzují, zda výsledky měření daného etalonu leží se zvolenou pravděpodobností ve zvoleném pásmu tolerance (20 %).

Existují také jiné postupy hodnocení způsobilosti měřidel, kdy zvolené pásmo tolerance není 20%, ale například 15 % a také zvolená pravděpodobnost je různá, např. 99,73 %, 99,994 % nebo také 95 %, příp. 95,45 % [1], [2].

Pro zhodnocení způsobilosti zkoumaného MS je možné používat následující **tabulku 1.1**.

Tab. 1.1: Pravidla pro hodnocení způsobilosti měřicího systému (MS):

$C_g, C_{gk} \geq 1,33$	měřicí systém (MS) je způsobilý pro měření požadované tolerance
$C_g, C_{gk} < 1,33$	měřicí systém (MS) je nezpůsobilý pro měření požadované tolerance

Hodnota 1,33 (přesněji 1,333333) u indexu C_g znamená, že 99,994 % naměřených hodnot leží v intervalu o velikosti 0,2 TOL .

Pokud je C_{gk} menší než C_g , není proces měření vycentrovan - tj. průměrná naměřená hodnota se nerovná konvenčně pravé hodnotě měřeného etalonu.

Hlavní výhodou hodnocení způsobilosti MS pomocí indexů C_g a C_{gk} je jednoduchost zhodnocení přesnosti měřidla (jediným číslem) ve vztahu ke zlomku tolerance.

Hlavní nevýhodou je „metrologická konzervativnost“ tohoto postupu ve smyslu, že neuvažuje nejistotu měření, která musí být standardem v metrologii 21. století.

Za obdobně konzervativní postup, vycházející z chybového pojetí výsledků měření, je nutné považovat i výsledky analýzy systému měření (MSA) podle čtvrtého vydání příručky (MSA, 2010). Toto vydání z roku 2010 je možné považovat za návod k ucelené analýze systému měření.

2. Posouzení vhodnosti a způsobilosti MS

Systém validace měřicího systému (MS) se výrazně vyvíjel v posledních 40 letech. Na obr. 2.1 je znázorněn výsledek tohoto vývoje na základě chybového a nejistotového přístupu k hodnocení výsledků měření.

Pro posuzování způsobilosti daného měřidla na základě chybového přístupu se doposud v praxi využívají indexy způsobilosti měřidla C_g a C_{gk} , příp. další parametry analýzy systému měření MSA.

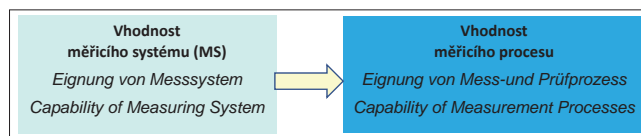
Teorie nejistot představuje teoretický předpoklad vytvoření kvalitativně komplexnějšího hodnocení výkonnosti/způsobilosti MS.

2.1 Princip nejistotového přístupu k validaci MS

Budoucnost validace měřicího systému (MS) představuje využívání nejistotového přístupu k hodnocení výsledků měření. První ucelenou teorii představovala příručka VDA 5. VDA 5 je německá automobilová příručka, která byla vypracována pracovní skupinou QMC (*Qualitäts Management Center*) v roce 2003 ve spolupráci s německými firmami (BMW, DAIMLER, MAN, BOSCH, VW atd.).

Užitá verze této příručky byla vydána v září 2010 (2. vydání). Tato verze představuje zcela zásadní přepracování prvního vydání a v češtině vydána pod názvem „Vhodnost kontrolních procesů“ (*Prüfprozesseignung*). V roce 2021 vyšlo 3. vydání VDA-5 pod názvem (v češtině v roce 2022) „Proces měření a zkoušení“ [9].

Příručka popisuje praktické přístupy k provádění analýzy systému měření na základě výpočtu nejistoty měření procesů kontroly, obr. 2.2.

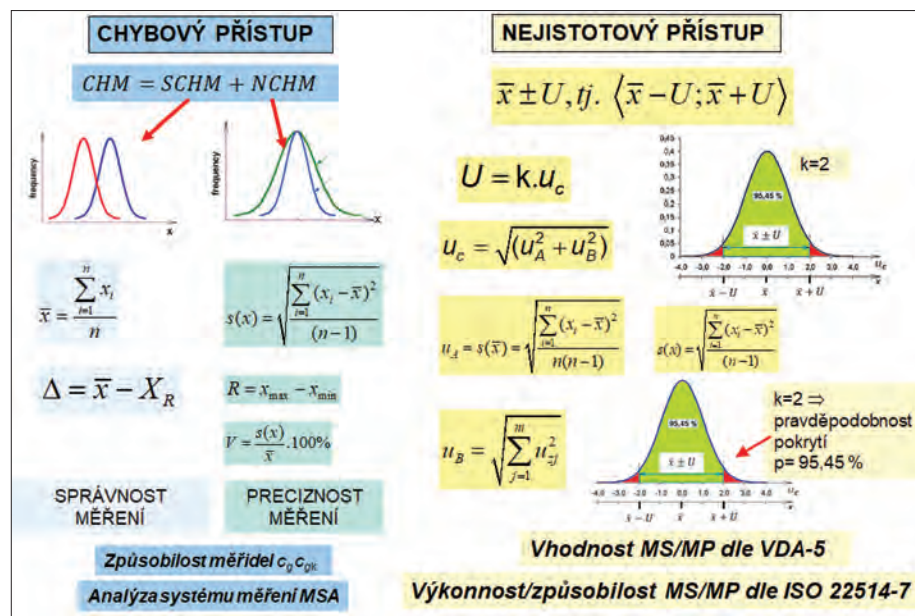


Obr. 2.2: Vhodnost měřicího systému a procesu dle VDA 5

Po roce 2010 postupně vznikl mezinárodní systém ISO norem řady 22514 pod společným názvem „Statistické metody v managementu procesu – Způsobilost a výkonnost (Statistical methods in process management - Capability and performance). Část 7 – Způsobilost procesu měření“ (ČSN ISO 22514-7:2014) [6] je českou verzí mezinárodní normy ISO 22514-7:2012. V roce 2024 byla schválena již třetí edice ISO 22514-7:2021/Amd 1:2024 [7], která zatím není převzata do českých technických norem (norma ČSN ISO 22514-7:2014 zrušena v 1/2025).

2.2 Postup hodnocení způsobilosti MS dle ISO 22514-7

Norma ČSN ISO 22514-7:2014 [6] (dále jen norma) objasňuje postup validace měřicího systému (dále MS), tj. ověření, zda daný MS vyhovuje požadavkům pro určitou měřicí úlohu s využitím teorie nejistot.



Způsobilost MS - C_g ; C_{gk} Analýza systému měření MSA	Vhodnost MS dle VDA-5 Způsobilost MS dle ISO 22514-7
---	---

Obr. 2.1: Validace měřicího systému (MS) dle chybového a nejistotového přístupu

Pro MS jsou stanovena 3 kritéria:

- **Požadavek na dostatečnou rozlišitelnost** (v normě rozlišení) ve vztahu k požadované toleranci je možné vyjádřit vztahem:

$$\%RE = \frac{RE}{TOL} (100\%) \leq 5\%TOL, \quad (2.1)$$

kde TOL představuje toleranční pole definované podle vztahu (1.2). To znamená, že je požadováno, aby měl měřicí systém dostatečné rozlišení – menší než 5% tolerance.

- **Poměr způsobilosti měřicího systému QMS**, který je definovaný vztahem:

$$Q_{MS} = \frac{2U_{MS}}{TOL} (100\%), \quad (2.2)$$

kde U_{MS} představuje rozšířenou nejistotu měření:

$$U_{MS} = k u_{MS} \quad (2.3)$$

Ve vztahu (2.3) je koeficient rozšíření $k = 2$, protože se v souladu s normou vychází z přibližně 95,45% (- ního) konfidenčního intervalu. Kombinovaná nejistota měřicího systému je označena u_{MS} .

Normou je pro praxi doporučeno, aby Q_{MS} nepřesáhl 15 %.

- Ukazatel způsobilosti měřicího systému C_{MS} vychází z obecné definice ukazatele způsobilosti:

$$C_{MS} = \frac{0,3(TOL)}{6u_{MS}} \quad (2.4)$$

Norma doporučuje, aby ukazatel C_{MS} přesahoval hodnotu 1,33 ($C_{MS} \geq 1,33$). To znamená, že do intervalu o velikosti 0,3 T lze umístit více než 8 kombinovaných nejistot měřicího systému u_{MS} .

Výpočet kombinované nejistoty měřicího systému

Kombinovaná nejistota měřicího systému u_{MS} z rovnic (2.3) a (2.4) se určí pomocí vztahu (2.5):

$$u_{MS} = \sqrt{u_{cal}^2 + \max\{u_{EVR}^2, u_{RE}^2\} + u_{BI}^2 + u_{LIN}^2 + u_{MS_REST}^2} \quad (2.5)$$

Jednotlivé složky ze vztahu (2.5) vypočteme postupně podle vztahů (2.6) až (2.12).

Kombinovanou nejistotu z kalibrace použitého etalonu u_{cal} vypočteme podle vztahu:

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}}{k_{cal}} \quad (2.6)$$

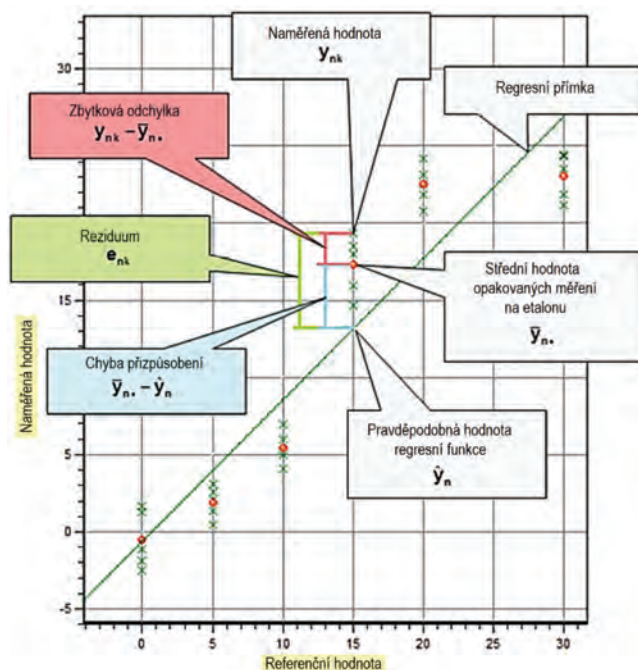
kde U_{cal} představuje rozšířenou nejistotu kalibrace použitých etalonů a $k_{cal} = 2$ je koeficient rozšíření. Použité referenční etalony nebo součásti musí být sledovatelné k deklarovaným referencím, obvykle národním nebo mezinárodním etalonům, nebo k tzv. dohodnutým etalonům (dohodnutým mezi odběratelem a dodavatelem). Během této kalibrace je zjištěna aktuální nejistota U_{cal} .

Když použijeme pouze jeden etalon, pak opakovatelnost u_{EVR} počítáme jako výběrovou směrodatnou odchylku naměřených hodnot:

$$u_{EVR} = s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} \quad (2.7)$$

Následně pak odchylky pocházející z linearit u_{LIN} položíme rovny nule.

Když využijeme více etalonů, nejčastěji hodnotíme u_{LIN} společně s u_{EVR} s využitím analýzy rozptylu (ANOVA). Matematickou podstatou tohoto postupu je rozdělení chyby zvoleného modelu ($SS_{rezidual}$) na složku adekvátnosti modelu SS_{LIN} (Lack-of-fit) a vlastní reziduální součet čtverců SS_{EVR} (Pure Error), viz. obr. 2.3.



Obr. 2.3: Použití analýzy rozptylu (ANOVA) pro odhad složek nejistot MS dle ČSN ISO 22514-7:2014

Z uvedených dvou složek vypočteme střední kvadratickou odchylku linearit (Lack of Fit Mean Square) MS_{LIN} a střední kvadratickou odchylku opakovatelnosti (Pure Error Mean Square) MS_{EVR} podle vztahů (2.8) a (2.9), kde ve jmenovateli jsou uvedeny příslušné stupně volnosti f_{LIN} a f_{EVR} :

$$MS_{LIN} = \frac{SS_{LIN}}{f_{LIN}} \quad (2.8)$$

$$MS_{EVR} = \frac{SS_{EVR}}{f_{EVR}} \quad (2.9)$$

Hodnoty nejistot u_{LIN} a u_{EVR} pak vypočteme podle vztahů (2.10) a (2.11).

$$u_{LIN} = \sqrt{MS_{LIN}} \quad (2.10)$$

$$u_{EVR} = \sqrt{MS_{EVR}} \quad (2.11)$$

Nejistotu pocházející z vychýlení u_{BI} vypočteme podle vztahu (2.12):

$$u_{BI} = \frac{|\bar{x}_g - x_e|}{\sqrt{3}} \quad (2.12)$$

kde výraz $|\bar{x}_g - x_e|$ představuje rozdíl aritmetického průměru naměřených hodnot a referenční hodnoty etalonu (ohodnocení správnosti měření).

Další, doposud neuvedené složky nejistot u_{MS_REST} určíme v případě potřeby v souladu s Pokynem k vyjádření nejistot měření (GUM 1995) [5].

Pro přehlednost jsou jednotlivé složky nejistot uvedeny ještě jednou v tabulce 2.1.

Tab. 2.1: Složky nejistot MS dle ČSN ISO 22514-7:2014

Složky nejistoty	Značka	Vztah
Rozlišení	u_{RE}	$u_{RE} = \frac{0,5 \cdot RE}{\sqrt{3}}$
Kalibrace etalonu nebo součástí	u_{CAL}	$u_{CAL} = \frac{U_{CAL}}{k_{CAL}}$
Vychýlení	u_{BI}	$u_{BI} = \frac{ \bar{x}_y - x_m }{\sqrt{3}}$
Odchyly pocházející z linearity	u_{LIN}	$u_{LIN} = \sqrt{MS_{LIN}}$
Opakovatelnost na etalonech	u_{EVR}	$u_{EVR} = s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_y)^2}$ $u_{EVR} = \sqrt{MS_{EVR}}$
Jiné složky nejistoty	u_{MS_REST}	
$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + \max\{u_{EVR}^2, u_{RE}^2\} + u_{BI}^2 + u_{LIN}^2 + u_{MS_REST}^2}$		

Druhé vydání ISO 22514-7:2021 [7], která zatím není převzata do systému českých technických norem, přináší např. následující změny v hodnocení MS:

- upřesnění použití hodnot MPE měřicího systému ve výpočtech kombinované nejistoty měření,
- formální úprava vztahů pro výpočet indexu způsobilosti c_{MS} a požadavků na jeho minimální hodnotu,
- revize výpočtu linearity,
- doplnění metody výpočtu způsobilosti MS, pokud je specifikace zájmové vlastnosti definována jako jednostranná specifikace.

V případě, že použijeme hodnotu největší dovolené chyby měření MPE, místo experimentálních metod, ve výpočtu kombinované nejistoty měření MS, postupujeme podle následujícího vztahu:

$$u_{MS} = u_{MPE} = \frac{MPE}{\sqrt{3}}. \quad (2.13)$$

Pokud MS charakterizuje více hodnot MPE, postupujeme při výpočtu dle vztahu (2.14).

$$u_{MS} = u_{MPE} = \sqrt{\frac{MPE_1^2}{3} + \frac{MPE_2^2}{3} + \dots} \quad (2.14)$$

Rozšířenou nejistotu a poměr způsobilosti měřicího systému Q_{MS} pak vypočteme shodně dle vztahů (2.2) a (2.3).

Formální úprava vztahu pro ukazatel způsobilosti měřicího systému C_{MS} je vyjádřena za předpokladu, že koeficient rozšíření = 2 takto:

$$C_{MS} = \frac{0,2(TOL)}{4u_{MS}}. \quad (2.15)$$

Norma ISO 22514-7:2021 [7] doporučuje, aby ukazatel C_{MS} měl hodnotu minimálně 1,33. To znamená, že do intervalu o velikosti 0,2 T lze umístit nejméně 5,32 kombinovaných nejistot měřicího systému u_{MS} . Pokud ovšem srovnáme vztahy (2.4) a (2.15), vidíme, že matematicky představují shodnou hodnotu poměru:

$$C_{MS} = \frac{0,3(TOL)}{6u_{MS}} = \frac{0,2(TOL)}{4u_{MS}} = \quad (2.16)$$

Jinými slovy to znamená, že první vydání normy ISO 22514-7:2012 vlastně požadovalo, aby do 5% tolerance šlo umístit více než 1,33 kombinovaných nejistot měřicího systému u_{MS} .

Podle druhého vydání ISO 22514-7:2021 [7] je požadováno, aby do 5% tolerance šlo umístit minimálně 1,33 kombinovaných nejistot měřicího systému u_{MS} , a to je splněno, pokud poměr způsobilosti měřicího systému Q_{MS} je maximálně 15 %.

Pokud označíme maximální dovolenou hodnotu poměru způsobilosti MS jako $Q_{MS_max} = 15\%$, můžeme rovněž vypočítat minimální toleranci TOL_{MIN} , pro kterou bude při vypočtené rozšířené nejistotě U_{MS} splněná uvedená podmínka (a rovněž $C_{MS} = 1,33$):

$$TOL_{MIN} = \frac{2U_{MS}}{Q_{MS_max}}(100\%) = \frac{2U_{MS}}{15}(100\%). \quad (2.17)$$

3. Prokazování shody se specifikací dle ČSN EN ISO 14253-1

ISO 14253-1:2017 je třetím vydáním všeobecné normy (general standard) systému ISO GPS, která kromě jiného objasňuje pravidla pro prokázání shody se specifikací pro všech devět geometrických vlastností výrobků. Norma byla v České republice vydána jako ČSN EN ISO 14253-1:2018 a v současnosti je platná verze ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8].

Dle této normy je shoda se specifikací ověřena, když naměřená hodnota padne do pole přijetí. Pole přijetí je pole specifikace zmenšené o ochranná pásma s ohledem na limitu pravděpodobnosti shody.

Pokud má hustota pravděpodobnosti měřených hodnot normální rozdělení se směrodatnou odchylkou výrazně menší, než je rozměr pole specifikace, pak standardní limita pravděpodobnosti shody 95 % odpovídá hodnotě faktoru ochrannému pásma $g_A = 1,65$, tj. šířka ochranného pásma je rovna 1,65 x kombinovaná standardní nejistota.

$$\text{šířka ochranného pásma} = g_A u_c. \quad (3.1)$$

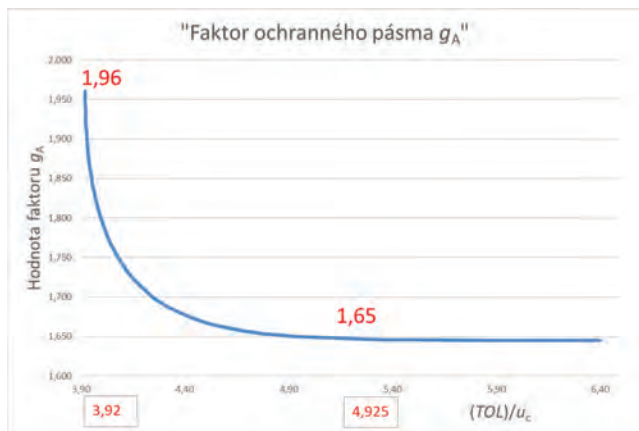
Prakticky postupujeme tak, že nejdříve zjistíme hodnotu poměru R tolerance TOL a kombinované nejistoty měření u_c dle vztahu (3.2):

$$R = \frac{TOL}{u_c}. \quad (3.2)$$

Hodnotu faktoru ochrannému pásma g_A následně vypočteme tak, aby pravděpodobnost shody vyšla právě 95 %. Maximální hodnota faktoru ochrannému pásma $g_A = 1,96$, což platí, když poměr (3.2) je roven přesně 3,92. Na obr. 3.1 je uvedený graf hodnot faktoru ochranného pásma g_A v závislosti na velikosti poměru dle vztahu (3.1).

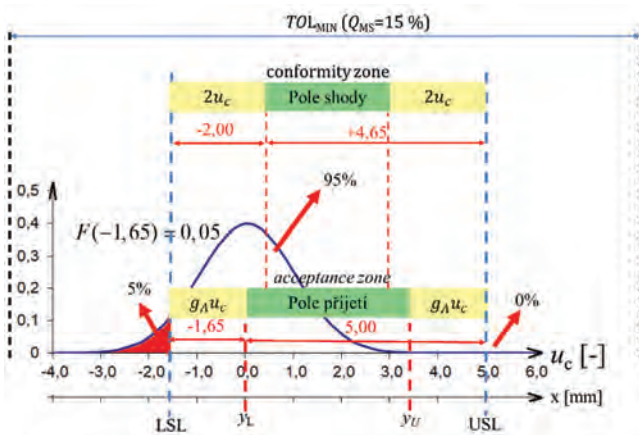
Dále předpokládáme, že hodnotu kombinované nejistoty měření odhadneme s využitím největší dovolené chyby měření MPE podle textu předchozí kapitoly a vztahu (2.13).

$$u_c = u_{MS} = u_{MPE} = \frac{MPE}{\sqrt{3}}. \quad (3.3)$$



Obr. 3.1: Graf závislosti hodnoty faktoru ochranného pásma g_A na velikosti TOL/u_c

Pro ilustraci je na následujícím obr. 3.2 znázorněno pole přijetí pro poměr $TOL/u_c = 6,65$. Pro srovnání je v obrázku znázorněna velikost pole shody dle druhého vydání ČSN EN ISO 14253-1:2014. Obě pole jsou doplněna o vypočtenou minimální toleranci podle druhého vydání ISO 22514-7:2021, která je ve skutečnosti přibližně 4x větší než uvažovaná TOL, tj. (USL-LSL).



Obr. 3.2: Srovnání velikostí polí přijetí, shody a minimální tolerance pro $TOL/u_c = 6,65$

Dle obr. 3.2 (horní část grafu) můžeme konstatovat, že minimální toleranci, od které daný MS považujeme za způsobilý dle ISO 22514-7:2021 [7], představuje požadavek, aby bylo možné do této tolerance umístit minimálně $4/0,15 \approx 26,667$ kombinovaných nejistot měření.

Při prokázání shody se specifikací podle ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] vidíme (obr. 3.2 - spodní část grafu), že již od poměru $TOL/u_c @ 5$ je MS možné považovat za **použitelný** (nově zavedený parametr), samozřejmě s podstatně výraznějším tlakem na potřebné centrování výroby.

V praxi tedy doporučujeme používat alternativně (dle náročnosti centrování výroby) obě metody prokazování shody se specifikací:

- **způsobilost měřidla (MS)** v souladu s normou ISO 22514-7:2021/Amd 1:2024 [7] lze například využít ukazatel způsobilosti MS $C_{MS} \geq 1,33$,

- **použitelnost měřidla (MS)** v souladu s normou ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] lze například využít doporučenou hodnotu poměru $R @ 5$.

4 Kritická analýza hodnocení lineárních měřidel délky pro obě použité metody

Z předešlého textu je zřejmé, že metoda vyhodnocování způsobilosti MS (podle ISO 22514-7:2021 a VDA-5) a metoda prokázání shody se specifikací (podle ČSN EN ISO 14253-1:2023) mají odlišnou filosofii. Tato kapitola se zabývá porovnáním obou výše popsaných metod na vybraných pracovních měřidlech délky – posuvných měřidlech a třmenových mikrometrech.

Pracovní měřidla délky (PMD)

PMD patří v technické praxi mezi nejpoužívanější měřidla. V souladu s platným zákonem o metrologii č. 505/1990 Sb. [3] podléhají požadavkům na periodickou kalibraci za použití vhodných etalonů. Tohoto faktu bylo využito i pro vypracování tohoto článku, kdy jedním z porovnávacích kritérií byly právě parametry získané z kalibrace jednotlivých pracovních měřidel.

Pro vyhodnocení způsobilosti daných MS byla v souladu s normou ISO 22514-7:2021 [7] zvolena délková měřidla, která se běžně vyskytují v technické praxi – posuvná měřidla a třmenové mikrometry. Ve všech případech byly zvoleny konkrétní typy měřidel zavedených výrobců, kteří deklarují požadované parametry měřidel potřebné k vyhodnocení jejich způsobilosti a použitelnosti.

Posuvná měřidla (PM)

PM patří mezi nejpoužívanější lineární délková měřidla, která se vyrábí nejčastěji v digitální verzi, respektive analogové verzi s odečítacím noniem. Vybraná posuvná měřidla byla vybavena jak hlavními měřicími čelisti, tak i vedlejšími a výsuvným hloubkoměrem. Pro účel tohoto článku jsou uvažovány nejen hlavní měřicí čelisti a jejich parametr E_{MPE} , ale i čelisti pro měření vnitřních rozměrů s parametrem S_{MPE} . Údaje o použitých PM jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tab. 4.1: Seznam použitých měřidel - posuvná měřidla (PM)

Typ	Výrobce	Označení	E_{MPE} (mm)	S_{MPE} (mm)
posuvka analogová 150/0,02 mm	Mitutoyo	530-122	0,03	0,03
posuvka digitální 150/0,01 mm	Mahr	16EWRi	0,03	0,03
posuvka digitální 150/0,01 mm	Mitutoyo	500-161U	0,02	0,02

Třmenové mikrometry (TM)

TM jsou dalšími velmi rozšířenými lineárními měřidly v praxi. Od posuvných měřidel se odlišují konstrukčním uspořádáním – použitím mikrometrického šroubu nejčastěji v rozsahu 25 mm. Měřicí doteky mikrometrů byly umístěny

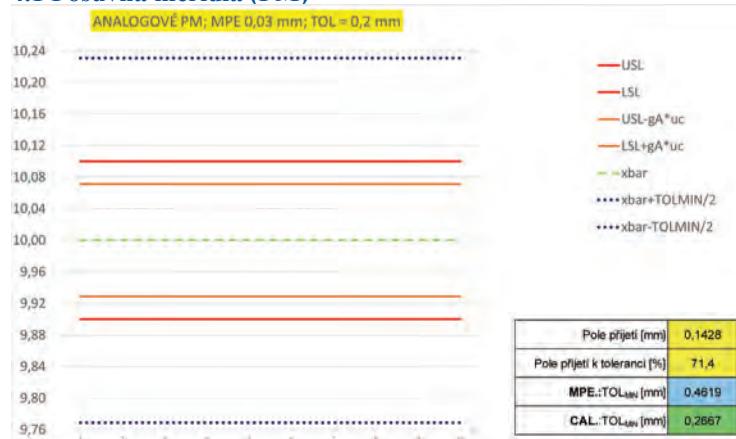
v ose mikrometrického šroubu, což je oproti posuvným měřidlům konstrukční výhoda. Pro účely tohoto článku jsou uvažovány parametry MPE udávaných výrobcem, tak i parametr G dle normy DIN 863-1 [10]. Údaje o použitých TM jsou uvedeny v **tabulce 4.2**.

Tab. 4.2: Seznam použitých měřidel - třmenové mikrometry (TM)

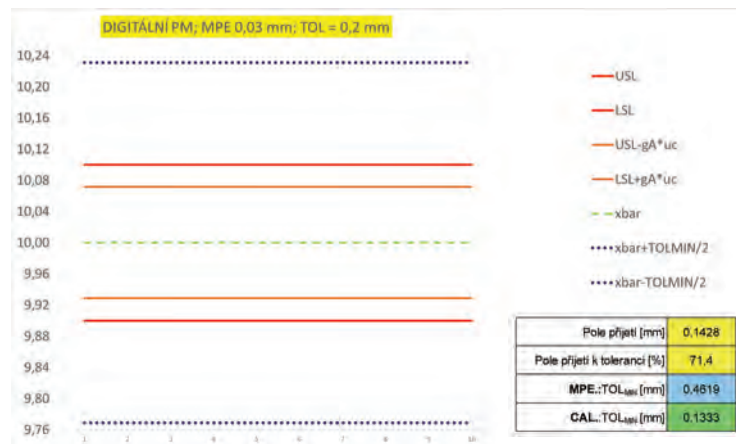
Typ	Výrobce	Označení	MPE (mm)	G (mm)
mikrometr analogový 25/0,01 mm	Mitutoyo	103-129	0,002	0,004
mikrometr digitální 25/0,001 mm	Mitutoyo	293-230-30	0,002	0,004
mikrometr digitální 25/0,001 mm	Mitutoyo	293-140-30	0,001	0,004

V technické praxi se používají v tabulkách uvedená měřidla většinou v rámci širšího spektra nástrojů pro zajištění kvality jako jednoho z hlavních ukazatelů výkonosti daného subjektu, který ke své činnosti tyto měřidla používá. V těchto případech je vhodné použít pojem „Měřicí systém“ i v případě relativně jednoduchých pracovních měřidel. Tyto měřicí systémy MS se tak stávají nedílnou součástí procesu měření.

4.1 Posuvná měřidla (PM)



Obr. 4.1: Analogové PM výrobce Mitutoyo s MPE 0,03 mm



Obr. 4.2: Digitální PM výrobce Mahr s MPE 0,03 mm

Na prvním **obr. 4.1** je zobrazen graf s vypočtenými hodnotami vyhodnocení způsobilosti analogového PM Mitutoyo o rozsahu 150 mm s rozlišením 0,02 mm, hodnotou MPE = 0,03 mm pro zadanou toleranci měřeného rozměru 0,2 mm ($\pm 0,1$ mm).

Na **obr. 4.1** je pásmo zadané tolerance měřeného rozměru ($TOL = 0,2$ mm) znázorněno červenými přímkami. Toto pásmo je oříznuto z obou stran o hodnotu $gA uC$ (znázorněno oranžovými přímkami) a pole přijetí představuje prostor mezi oranžovými přímkami. Ve středové části grafu je zobrazen aritmetický průměr (\bar{x}) zelenou přerušovanou přímkou. Minimální tolerance vypočtena z největší dovolené chyby MPE je v grafu zakreslena modrou tečkovanou přímkou.

Vidíme, že pokud použijeme hodnotu největší dovolené chyby MPE pro výpočet kombinované nejistoty měření analogového posuvného měřidla dle vztahu (2.13), hodnota minimální tolerance TOL_{MIN} , viz vztah (2.17), je 0,462 mm ($\pm 0,231$ mm). Podle ISO 22514-7:2021 [7] je tedy toto analogové měřidlo výrazně nezpůsobilé pro měření rozměru se zadanou tolerancí 0,2 mm!

I když použijeme hodnotu kombinované nejistoty z kalibrace tohoto posuvného měřidla pro výpočet minimální tolerance dle vztahu (2.17), získáme hodnotu minimální tolerance TOL_{MIN} necelých 0,267 mm ($\pm 0,1335$ mm). To znamená, že podle ISO 22514-7:2021 [7] (a rovněž dle VDA-5) je toto analogové měřidlo nezpůsobilé pro měření rozměru s tolerancí 0,2 mm i při dosažení nejistoty měření o velikosti kombinované nejistoty při jeho kalibraci.

Pokud ovšem toto měřidlo použijeme v souladu s ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] k prokázání shody se specifikací a hodnotu kombinované nejistoty měření určíme podle vztahu (3.3), získáme pro zadanou toleranci měřeného rozměru 0,2 mm pole přijetí o velikosti téměř 0,143 mm (tj. 71,4% tolerance). To značí, že toto analogové PM s rozlišením 0,02 mm je použitelné k prokázání shody v souladu se systémem (ISO) GPS.

Na následujícím **obr. 4.2** je zobrazen graf s vypočtenými hodnotami vyhodnocení způsobilosti digitálního PM Mahr o rozsahu 150 mm s rozlišením displeje 0,01 mm pro hodnotu MPE = 0,03 mm.

Na **obr. 4.2** je pásmo zadané tolerance měřeného rozměru ($TOL=0,2$ mm) znázorněno červenými přímkami. Toto pásmo je oříznuto z obou stran o hodnotu (znázorněno oranžovými přímkami) a pole přijetí představuje prostor mezi oranžovými přímkami. Ve středové části grafu je zobrazen aritmetický průměr (\bar{x}) zelenou přerušovanou přímkou. Minimální tolerance TOL_{MIN} vypočtena z největší dovolené chyby MPE je v grafu zakreslena modrou tečkovanou přímkou.

Vidíme, že pokud použijeme hodnotu největší dovolené chyby MPE pro výpočet kombinované nejistoty měření analogového posuvného měřidla dle vztahu (2.13), hodnota minimální tolerance TOL_{MIN} , viz vztah (2.17), je 0,462 mm ($\pm 0,231$ mm). Podle ISO 22514-7:2021 [7] je tedy i toto digitální měřidlo, stejně jako v předchozím

případě, výrazně nezpůsobilé pro měření rozměru se zadanou tolerancí měřeného rozměru 0,2 mm!

I když použijeme hodnotu kombinované nejistoty z kalibrace tohoto posuvného měřidla pro výpočet minimální tolerance dle vztahu (2.17), získáme hodnotu minimální tolerance TOL_{MIN} necelých 0,1333 mm ($\pm 0,0666$ mm). To znamená, že podle ISO 22514-7:2021 [7] (a rovněž dle VDA-5) je i toto digitální posuvné měřidlo Mahr nezpůsobilé pro měření rozměru s tolerancí 0,2 mm i při dosažení nejistoty měření o velikosti kombinované nejistoty při jeho kalibraci.

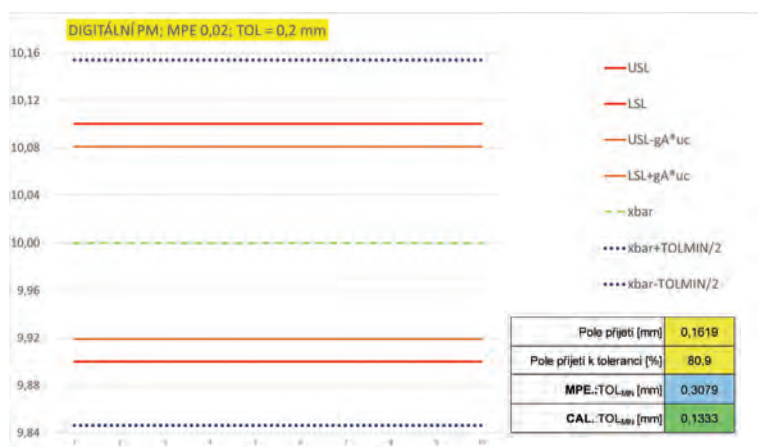
Pokud ovšem toto měřidlo znovu použijeme v souladu s ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] k prokázání shody se specifikací a hodnotu kombinované nejistoty měření určíme podle vztahu (3.3), získáme pro zadanou toleranci měřeného rozměru 0,2 mm pole přijetí o velikosti téměř 0,143 mm (tj. 71,4% tolerance). To značí, že toto PM s rozlišením 0,01 je také použitelné k prokázání shody v souladu se systémem GPS.

Na následujícím **obr. 4.3** je zobrazen graf s vypočtenými hodnotami vyhodnocení způsobilosti digitálního PM Mitutoyo o rozsahu 150 mm s rozlišením displeje 0,01 mm pro hodnotu $MPE = 0,02$ mm.

Na **obr. 4.3** je pásmo zadané tolerance měřeného rozměru ($TOL = 0,2$ mm) rovněž znázorněno červenými přímkami. Toto pásmo je oříznuto z obou stran o hodnotu (znázorněno oranžovými přímkami) a pole přijetí představuje prostor mezi oranžovými přímkami. Ve středové části grafu je zobrazen aritmetický průměr (\bar{x}) zelenou přerušovanou přímkou. Minimální tolerance vypočtena z největší dovolené chyby MPE je v grafu zakreslena modrou tečkovanou přímkou.

Vidíme, že pokud použijeme hodnotu největší dovolené chyby MPE pro výpočet kombinované nejistoty měření analogového posuvného měřidla dle vztahu (2.13), hodnota minimální tolerance TOL_{MIN} , viz vztah (2.17), je 0,308 mm ($\pm 0,154$ mm). Podle ISO 22514-7:2021 [7] je tedy i toto digitální měřidlo, stejně jako v předchozím případě, nezpůsobilé pro měření rozměru se zadanou tolerancí měřeného rozměru 0,2 mm!

I když použijeme hodnotu kombinované nejistoty z kalibrace tohoto posuvného měřidla pro výpočet minimální tolerance dle vztahu (2.17), získáme hodnotu minimální



Obr. 4.3: Digitální PM výrobce Mitutoyo s MPE 0,02 mm

tolerance TOL_{MIN} necelých 0,1333 mm ($\pm 0,0666$ mm). To znamená, že podle ISO 22514-7:2021 [7] (a rovněž dle VDA-5) je i toto digitální posuvné měřidlo Mahr nezpůsobilé pro měření rozměru s tolerancí 0,2 mm i při dosažení nejistoty měření o velikosti kombinované nejistoty při jeho kalibraci.

Pokud ovšem toto měřidlo znovu použijeme v souladu s ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] k prokázání shody se specifikací a hodnotu kombinované nejistoty měření určíme podle vztahu (3.3), získáme pro zadanou toleranci měřeného rozměru 0,2 mm pole přijetí o velikosti téměř 0,162 mm (tj. 80,9% tolerance). To značí, že toto PM je opět použitelné k prokázání shody v souladu se systémem GPS, ale ve srovnání s předchozími PM má největší pole přijetí.

Shrnutí výsledků pro PM

Prezentované výsledky vyhodnocení způsobilosti a použitelnosti tří typů PM s měřicím rozsahem (0-150) mm pro uvažovanou toleranci měřeného rozměru $TOL = 0,2$ mm, které byly zpracovány dvěma různými způsoby podle ISO 22514-7 (a rovněž VDA-5) a podle ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] jsou uvedeny v přehledové **tabulce 4.3**.

Tab. 4.3: Souhrn hodnot sledovaných parametrů PM pro uvažovanou toleranci rozměru 0,2 mm

Parametry	PM DIGITAL Mitutoyo typ 500-161U MPE 0,02mm	PM DIGITAL Mahr typ 16EWRI MPE 0,03mm	PM ANALOG Mitutoyo typ 530-122 MPE 0,03mm
MPE: TOL _{MIN} [mm]	0,3079	0,4619	0,4619
CAL: TOL _{MIN} [mm]	0,1333	0,1333	0,2667
MPE: Pole přijetí [mm]	0,1619	0,1428	0,1428
MPE: Pole přijetí k toleranci [%]	80,9	71,4	71,4
CAL: Pole přijetí [mm]	0,1835	0,1835	0,1670
CAL: Pole přijetí k toleranci [%]	91,7	91,7	83,5

Dle **tab. 4.3** můžeme konstatovat, že ani jeden typ zkoumaných PM není podle ISO 22514-7 způsobilý pro uvažovanou toleranci 0,2 mm.

Pokud pro analýzu způsobilosti využijeme **údaje o MPE** udávané výrobcem uvedených tří PM (**1. řádek tab.**), vypočteme pro PM s MPE 0,02 mm minimální toleranci o velikosti necelých 308 mm. Pro PM s MPE 0,03 mm je vypočtena minimální tolerance o velikosti přibližně 462 mm bez ohledu, zda se jedná o digitální nebo analogové PM.

Pokud pro analýzu způsobilosti použijeme **výsledky kalibrace (2. řádek tab.)**, získáme dle očekávání lepší výsledky (menší hodnoty minimální tolerance), které odpovídají skutečné metrologické kvalitě zkoumaných měřidel. Konkrétně u obou digitálních PM je vypočtena minimální tolerance přibližně 133 mm a u analogového PM téměř 267 mm. Pro praxi předpokládáme, že reálné hodnoty nejistoty měření při běžném použití PM budou vždy větší než hodnoty získané při kalibraci těchto PM, ale přesto je možné konstatovat, že kalibrace provedená s dostatečně nízkou hodnotou nejistoty měření vytváří předpoklad pro menší hodnoty minimální tolerance měřeného rozměru. To rovněž znamená možnost používání levnějších typů měřidel, než bychom očekávali, pokud hodnotíme metrologické schopnosti PM dle hodnot MPE udávaných normou ISO 13385-1:2019 nebo výrobcem.

Dle **tab. 4.3 (3. řádek tab. „MPE: Pole přijetí [mm]“)** rovněž vidíme, že všechna PM jsou použitelná v souladu s ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] k prokázání shody pro uvažovanou toleranci měřeného rozměru 0,2 mm (tj. $\pm 0,1$ mm) a pole přijetí je od necelých 143 mm po téměř 162 mm. Poměr velikosti pole přijetí k uvažované toleranci se pohybuje v rozmezí od 71,4 % do 80,9 %.

Ještě lepší výsledek získáme, pokud pro analýzu způsobilosti využijeme **údajů o nejistotě při kalibraci** uvedených PM (**5. řádek tab. „CAL: Pole přijetí [mm]“**). V tomto případě je pole přijetí široké od 167 mm po 183,5 mm, což představuje zlepšení poměru velikosti pole přijetí k zadané toleranci 0,2 mm o (10 až 20) %.

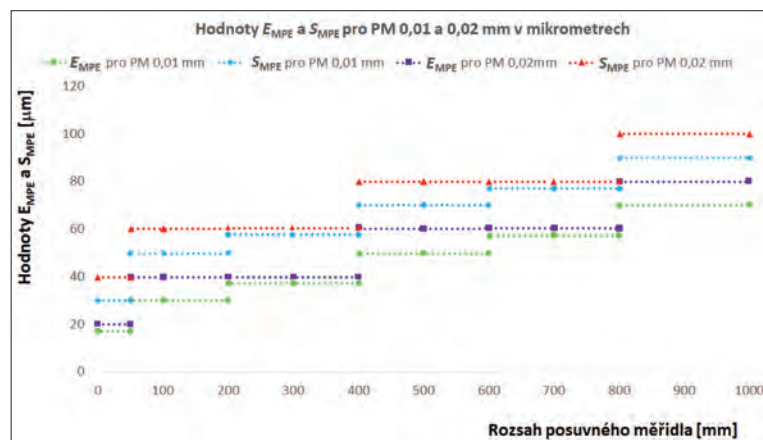
V roce 2019 byla technickou komisí ISO/TC 213 vypracována norma ISO 13385-1:2019 (v České republice vydaná jako ČSN EN ISO 13385-1:2020 [22]), ve které byly kromě jiného doplněny základní hodnoty maximální dovolené chyby měření PM s měřicím rozsahem až do 1000 mm. Na následujícím **obr. 4.4** je znázorněn graf velikosti hodnot E_{MPE} (vnější měření) a S_{MPE} (vnitřní měření) u PM s rozlišením (0,01 a 0,02) mm dle uvedené normy.

Dle **obr. 4.4** vidíme, že hodnoty E_{MPE} (zelená barva) se u PM s rozlišením 0,01 mm pohybují od ± 20 mm do ± 70 mm a hodnoty S_{MPE} (modrá barva) od ± 30 mm do ± 90 mm v závislosti na měřicím rozsahu (od 0 mm do 1000 mm).

Pro PM s rozlišením 0,02 mm jsou v normě ČSN EN ISO 13385-1:2020 [22] doporučeny hodnoty E_{MPE} (fialová barva) od ± 20 mm do ± 80 mm a hodnoty S_{MPE} (červená barva) od ± 40 mm do ± 100 mm v závislosti na měřicím rozsahu (od 0 mm do 1000 mm).

Dle **obr. 4.4** tedy můžeme konstatovat, že v normě ČSN EN ISO 13385-1:2020 [22] doporučené hodnoty E_{MPE} pro digitální PM s rozlišením 0,01 se shodují s hodnotami pro analogová PM s rozlišením 0,02 mm pro rozsahy (0-50) mm, (200-400) mm a (600-800) mm (překrývající se barvy jsou pro názornost v uvedených hodnotách vzájemně posunuty – zelená a fialová barva).

Obdobně můžeme uvést, že podle normy ČSN EN ISO 13385-1:2020 [22] jsou doporučené hodnoty S_{MPE} pro digitální PM s rozlišením 0,01 shodné s hodnotami

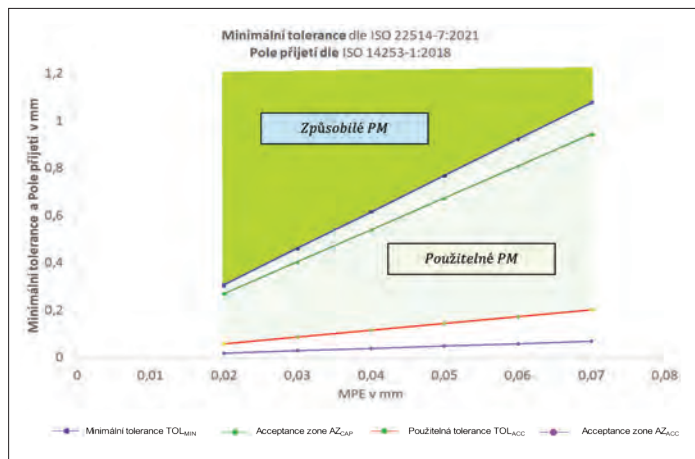


Obr. 4.4: Graf závislosti hodnot E_{MPE} a S_{MPE} u PM 0,01 a 0,02 mm na měřicím rozsahu

pro analogová PM s rozlišením 0,02 mm pro rozsahy (200-400) mm a (600-800) mm (překrývající se barvy jsou opět pro názornost v uvedených hodnotách vzájemně posunuty – modrá a červená barva).

Uvedeným souvislostem bychom se chtěli v budoucnu ještě věnovat např. s využitím precizní kalibrace uvedených druhů PM s cílem potvrdit nebo zpochybnit navržené hodnoty MPE v normě ČSN EN ISO 13385-1:2020 [22].

Na **obr. 4.5** je modrou barvou znázorněn graf závislosti minimální tolerance na hodnotě E_{MPE} pro digitální PM s rozlišením 0,01 mm s měřicím rozsahem až do 1000 mm.



Obr. 4.5: Graf závislosti minimální tolerance a velikosti pole přijetí na E_{MPE} pro digitální PM s rozlišením 0,01 mm

Pro **obr. 4.5** byla při výpočtu minimální tolerance TOL_{MIN} počítána kombinovaná nejistota měření PM u_{MS} dle vztahu (2.13). Dále předpokládáme, že ve vztahu (2.17) vypočteme rozšířenou nejistotu U_{MS} jako $2u_{MS}$, a pak po zaokrouhlení platí:

$$TOL_{MIN} = \frac{4u_{MS}}{Q_{MS_max}}(100\%) = \frac{4u_{MS}}{15}(100\%) = \frac{4MPE}{15\sqrt{3}}(100\%) \cong \cong 15,396MPE. \quad (4.1)$$

Ze vztahu (4.1) můžeme vytvořit vztah (4.2) pro výpočet nutné hodnoty MPE pro požadovanou toleranci TOL_R :

$$MPE = \frac{TOL_R}{15,396} \quad (4.2)$$

Dle vztahu (4.2) můžeme uvést příklad: Pokud bychom potřebovali PM pro měření rozměrů/vzdáleností s tolerancí například 0,6 mm, pak potřebujeme PM s MPE max. 39 mm.

Pro vypočtené hodnoty minimálních tolerancí byly následně vypočteny hodnoty polí přijetí a v **obr. 4.5** jsou znázorněny zelenou barvou. Přitom byla hodnota kombinované nejistoty měření vypočtena dle vztahu (3.3). To znamená, že můžeme vyjádřit závislost velikosti Pole přijetí pro vyhodnocení způsobilosti (Acceptance zone - dále jen AZ_{CAP}) s využitím vztahu (4.1) takto:

$$AZ_{CAP} = TOL_{MIN} - 2g_A u_{MS} = \frac{4MPE}{0,15\sqrt{3}} - 2 \frac{1,65MPE}{\sqrt{3}} \cong 13,491MPE. \quad (4.3)$$

Ze vztahu (4.1) a (4.3) rovněž vidíme, že hodnota poměru (Pole přijetí/ TOL_{MIN}) zůstane při uvedeném postupu konstantní (87,6 %). Na **obr. 4.5** je použitelná hodnota tolerance měřicího systému TOL_{ACC} znázorněna červenou přímkou. Použitelnou toleranci TOL_{ACC} vypočteme podle vztahu 4.4 jako 5násobek kombinované nejistoty u_{MS} :

$$TOL_{ACC} = 5u_{MS} = \frac{5MPE}{\sqrt{3}} \cong 2,887MPE. \quad (4.4)$$

Pro vypočtené hodnoty použitelné tolerance TOL_{MIN} byly následně vypočteny hodnoty polí přijetí (označení Acceptance zone AZ_{ACC}), v **obr. 4.5** jsou znázorněny fialovou barvou. Závislost velikosti pole přijetí (dále jen AZ_{ACC}) s využitím vztahu (4.1) takto:

$$AZ_{ACC} = TOL_{ACC} - 2g_A u_{MS} = \frac{5MPE}{\sqrt{3}} - 2 \frac{1,65MPE}{\sqrt{3}} \cong 0,981MPE \quad (4.5)$$

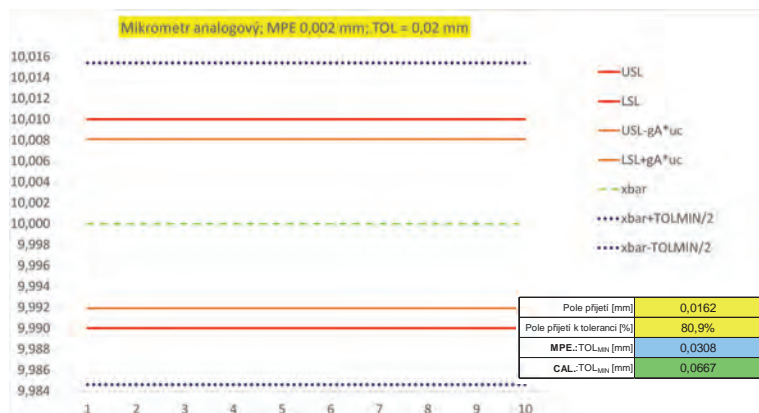
V tomto vztahu nahrazuje koeficient rozšíření g_A (dle ČSN ISO 14253-1:2018) obvykle používaný koeficient rozšíření $k = 2$ (dle ČSN ISO 14253-1:2014). Ze vztahu (4.4) a (4.5) rovněž vidíme, že hodnota poměru (Pole přijetí AZ_{ACC} / TOL_{ACC}) zůstane při uvedeném postupu konstantní (34%). Zůstane tak výrazný manažerský tlak na centrování výrobních procesů.

Na základě výše uvedených vztahů lze konstatovat, že hodnoty pole přijetí AZ pro obě použité metody se od sebe výrazně liší a platí: $AZ_{CAP} > AZ_{ACC}$.

V další části tohoto článku jsou zpracována vyhodnocení způsobilosti přesnějších typů pracovních měřidel – třmenových mikrometrů (TM).

4.2 Třmenové mikrometry (TM)

Na následujícím **obr. 4.6** je zobrazen graf s vypočtenými hodnotami vyhodnocení způsobilosti analogového TM Mitutoyo o rozsahu 25 mm s rozlišením stupnice 0,01 mm pro hodnotu $MPE = 0,002$ mm.



Obr. 4.6: Analogový TM výrobce Mitutoyo s $MPE = 0,002$ mm

Na **obr. 4.6** je pásmo zadané tolerance měřeného rozměru ($TOL=0,02$ mm) znázorněno červenými přímkami. Toto pásmo je oříznuto z obou stran o hodnotu (znázorněno oranžovými přímkami) a pole přijetí představuje prostor mezi oranžovými přímkami. Ve středové části grafu je zobrazen aritmetický průměr (\bar{x}) zelenou přerušovanou přímkou. Minimální tolerance vypočtena z největší dovolené chyby MPE je v grafu zakreslena modrou tečkovanou přímkou.

Vidíme, že pokud použijeme hodnotu největší dovolené chyby MPE pro výpočet kombinované nejistoty měření analogového TM dle vztahu (2.13), hodnota minimální tolerance TOL_{MIN} , viz vztah (2.17), je 0,0308 mm ($\pm 0,0154$ mm). Podle ISO 22514-7:2021 [7] je tedy i tento analogový TM, stejně jako v předchozím případě, **nezpůsobilý** pro měření rozměru se zadanou tolerancí měřeného rozměru 0,02 mm!

Výrobce analogového mikrometru, firma Mitutoyo, uvádí ve svých oficiálních webových stránkách hodnotu MPE údajem 0,002 mm, a to i přesto, že se jedná o mikrometr analogový s dělením stupnice 0,01 mm! I v případě, že bychom při odečítání ze stupnice mikrometru přistoupili k přibližnému odečtu poloviny jednoho dílku dosáhneme hodnoty teoretické rozlišitelnosti analogového mikrometru 0,005 mm. Abychom se alespoň přiblížili uváděné hodnotě MPE 0,002 mm, museli bychom přistoupit k rozdělení jednoho dílku analogové stupnice mikrometru na 5 částí. Tento krok je ovšem značně diskutabilní, v praxi téměř nerealizovatelný a nedávající smysl, protože pro měření můžeme použít digitální mikrometr. Protože je nejistota měření z kalibrace analogového mikrometru podstatně větší než uváděná hodnota MPE výrobcem, není možné toto měřidlo vyhodnotit jako způsobilé, i když je naprosto v pořádku nebo dokonce i úplně nové. V praxi jsou uživatelé tento fakt nuceni ignorovat nebo si určují vlastní hodnotu MPE s reálnými hodnotami vyhovujícími jejich použití.

Na následujícím **obr. 4.7** je zobrazen graf s vypočtenými hodnotami vyhodnocení způsobilosti digitálního TM Mitutoyo o rozsahu 25 mm s rozlišením stupnice 0,001 mm pro hodnotu $MPE = 0,002$ mm.

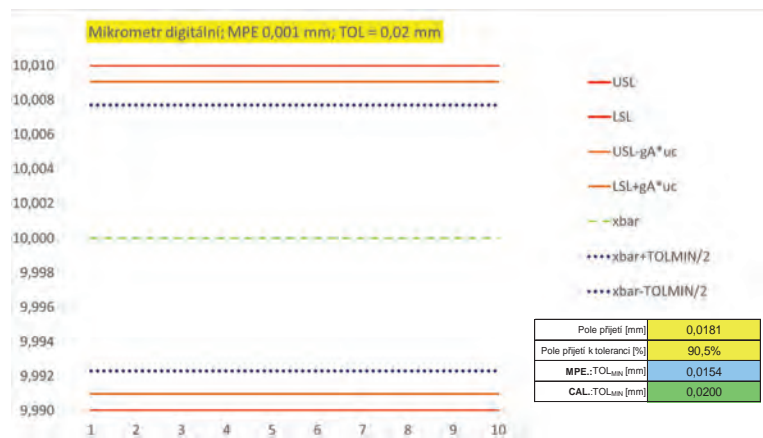
I na **obr. 4.7** je pásmo zadané tolerance měřeného rozměru ($TOL=0,02$ mm) rovněž znázorněno červenými přímkami. Toto pásmo je oříznuto z obou stran o hodnotu (znázorněno oranžovými přímkami) a pole přijetí představuje prostor mezi oranžovými přímkami. Ve středové části grafu je zobrazen aritmetický průměr (\bar{x}) zelenou přerušovanou přímkou. Minimální tolerance vypočtena z největší dovolené chyby MPE je v grafu zakreslena modrou tečkovanou přímkou.

Vidíme, že pokud použijeme hodnotu největší dovolené chyby MPE pro výpočet kombinované nejistoty měření analogového TM dle vztahu (2.13), hodnota minimální tolerance TOL_{MIN} , viz vztah (2.17), je 0,0154 mm ($\pm 0,0077$ mm). Podle ISO 22514-7:2021 [7] je tedy tento digitální TM, **způsobilý** pro měření rozměru se zadanou tolerancí měřeného rozměru 0,02 mm.

Pokud také toto měřidlo použijeme v souladu s ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] k prokázání shody se



Obr. 4.7: Digitální TM výrobce Mitutoyo s MPE 0,002 mm



Obr. 4.8: Digitální TM výrobce Mitutoyo s MPE 0,001 mm

specifikací a hodnotu kombinované nejistoty měření určíme podle vztahu (3.3), získáme pro zadanou toleranci měřeného rozměru 0,02 mm pole přijetí o velikosti téměř 0,0162 mm (tj. 80,9 % tolerance).

Na následujícím obr. 4.8 je zobrazen graf s vypočtenými hodnotami vyhodnocení způsobilosti digitálního mikrometru Mitutoyo o rozsahu 25 mm s rozlišením stupnice 0,001 mm pro hodnotu MPE = 0,001 mm.

Na obr. 4.8 je pásmo zadané tolerance měřeného rozměru ($TOL = 0,02$ mm) rovněž znázorněno červenými přímkami. Toto pásmo je opět oříznuto z obou stran o hodnotu (znázorněno oranžovými přímkami) a pásmo přijetí představuje prostor mezi oranžovými přímkami. Ve středové části grafu je zobrazen aritmetický průměr (\bar{x}) zelenou přerušovanou přímkou. Minimální tolerance vypočtena z největší dovolené chyby MPE je v grafu zakreslena modrou tečkovanou přímkou.

Vidíme, že pokud použijeme hodnotu největší dovolené chyby MPE pro výpočet kombinované nejistoty měření digitálního TM dle vztahu (2.13), hodnota minimální tolerance MPE.: TOL_{MIN} , viz vztah (2.17), je 0,0154 mm ($\pm 0,0077$ mm). Podle ISO 22514-7:2021 [7] je tedy toto digitální měřidlo způsobilé pro měření rozměru se zadanou tolerancí 0,02 mm.

Pokud použijeme hodnotu kombinované nejistoty z kalibrace tohoto TM pro výpočet minimální

tolerance dle vztahu (2.17), získáme hodnotu minimální tolerance CAL.: TOL_{MIN} necelých 0,0200 mm ($\pm 0,0100$ mm). To znamená, že podle ISO 22514-7:2021 [7] (a rovněž dle VDA-5) je tento digitální mikrometr Mitutoyo způsobilý pro měření rozměru s tolerancí 0,02 mm i při dosažení nejistoty měření o velikosti kombinované nejistoty při jeho kalibraci.

Pokud také toto měřidlo použijeme v souladu s ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] k prokázání shody se specifikací a hodnotu kombinované nejistoty měření určíme podle vztahu (3.3), získáme pro zadanou toleranci měřeného rozměru 0,02 mm pole přijetí o velikosti téměř 0,0181 mm (tj. 90,5% tolerance).

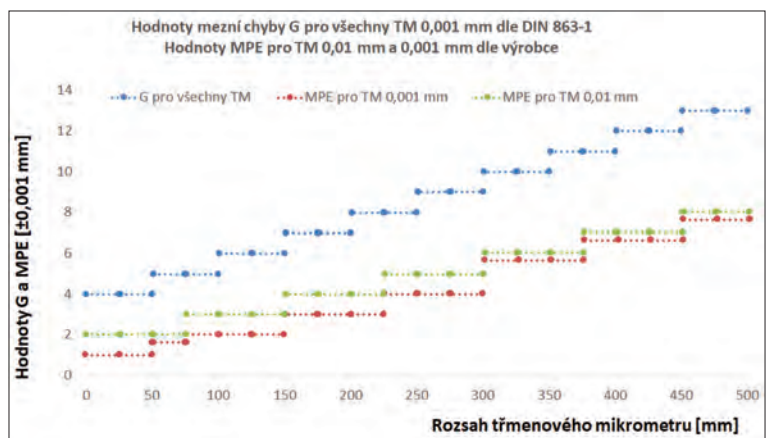
Shrnutí výsledků pro TM

Prezentované výsledky vyhodnocení způsobilosti a použitelnosti tří typů TM s měřicím rozsahem 0-25 mm pro uvažovanou toleranci měřeného rozměru $TOL = 0,02$ mm, které byly zpracovány dvěma různými způsoby podle ISO 22514-7:2021 [7] (a rovněž VDA-5) a podle ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] jsou uvedeny v tabulce 4.4.

Dle hodnot uvedených v tab. 4.4 můžeme konstatovat, že nejnižších hodnot při použití MPE zadané výrobcem dosahujeme u digitálního mikrometru s hodnotou MPE 0,001 mm kde hodnota MPE.: TOL_{MIN} je 0,0154 mm stejně jako u digitálního mikrometru s MPE 0,002 mm. Hodnotu MPE 0,002 mm udávanou výrobcem pro analogový mikrometr s rozlišitelností 0,01 mm (respektive 0,005 mm), jsme již okomentovali v předchozím textu.

Tab. 4.4: Souhrn hodnot sledovaných parametrů TM

Parametry	TM DIGITAL Mitutoyo typ 293-140-30 MPE 0,001mm	TM DIGITAL Mitutoyo typ 293-230-30 MPE 0,002mm	TM ANALOG Mitutoyo typ 102-301 MPE 0,002mm
MPE.:TOL _{MIN} [mm]	0,0154	0,0154	0,0308
CAL.:TOL _{MIN} [mm]	0,0200	0,0267	0,0667
MPE: Pole přijetí [mm]	0,0181	0,0162	0,0162
MPE: Pole přijetí k toleranci [%]	90,5%	80,9%	80,9%
CAL: Pole přijetí [mm]	0,0175	0,0167	0,0117
CAL: Pole přijetí k toleranci [%]	87,6%	83,5%	58,7%



Obr. 4.9: Graf závislosti hodnot G a MPE u TM 0,01 a 0,001 mm na měřicím rozsahu

Naopak uvedené hodnoty $CAL.:TOL_{MIN}$ vycházející z dat provedené kalibrace vybraných měřidel korespondují s obecně platným očekáváním od mikrometrických měřidel daných typů. Na následujícím obr. 4.9 je znázorněn graf velikosti hodnot G dle DIN 863-1 [10] a hodnot MPE u TM s rozlišením 0,01 a 0,001 mm dle údajů udávaných výrobcem.

Dle obr. 4.9 vidíme, že hodnoty G (modrá barva) se u TM s rozlišením 0,01 mm pohybují od ± 4 mm do ± 13 mm v závislosti na měřicím rozsahu (od 0 mm do 500 mm).

Pro TM s rozlišením 0,01 mm jsou v normě DIN 863-1 [10] doporučeny hodnoty E_{MPE} (zelená barva) od ± 2 mm do ± 8 mm v závislosti na měřicím rozsahu (od 0 mm do 500 mm).

Pro TM s rozlišením 0,001 mm jsou v normě DIN 863-1 [10] doporučeny hodnoty E_{MPE} (fialová barva) od ± 1 mm do ± 8 mm v závislosti na měřicím rozsahu (od 0 mm do 500 mm).

Dle obr. 4.9 také můžeme konstatovat, že v normě DIN 863-1 [10] doporučené hodnoty G pro digitální TM s rozlišením 0,001 se shodují s hodnotami pro analogové TM s rozlišením 0,01 mm pro všechny rozsahy (0-500) mm.

5. Shrnutí a závěr pro praxi

Prezentované výsledky vyhodnocení způsobilosti a použitelnosti PM a TM pro uvažovanou toleranci měřeného rozměru $TOL=0,020$ mm a 0,2 mm prokázaly, že pouze některé TM je podle ISO 22514-7:2021 [7] způsobilý pro uvažovanou toleranci. Na druhé straně vidíme, že PM i TM jsou použitelné k prokázání shody se specifikací v souladu s ČSN ISO 14253-1:2023 [8] s různě velkými poli přijetí, a tím i různými nároky na potřebné centrování výroby.

Pro potřeby systematického hodnocení potřeby centrování výroby v závislosti na velikosti pole přijetí AZ k uvažované toleranci TOL v % (déle jen p_{AZ}) je možné navrhnout následující tabulku 5.1.

Výpočet spodní hranice poměru:

Označme spodní použitelnou toleranci TOL_{ACC} jako pětinásobek kombinované nejistoty u_{MS} v souladu s kapitolou 4.1. a vztahem (4.4):

$$TOL_{ACC} = 5u_{MS}$$

Velikost hodnoty pole přijetí AZ_{ACC} a vypočteme z hodnoty TOL_{ACC} dle vztahu (4.5) při uvažované hodnotě $=1.65$:

$$AZ_{ACC} = TOL_{ACC} - 2g_A u_{MS} = TOL_{ACC} - 3.3u_{MS}. \quad (5.1)$$

Dolní hodnotu poměru pole přijetí k toleranci v % vypočteme v souladu s výše uvedenými vztahy:

$$p_{AZ} = \frac{AZ_{ACC}}{TOL_{ACC}} (100\%) = \frac{1,7u_{MS}}{5u_{MS}} (100\%) = 34\%. \quad (5.2)$$

Tab.5.1: Vyjádření požadavků na centrování výroby v závislosti na poměru velikosti pole přijetí k uvažované toleranci v %

Pole přijetí v % k toleranci	Hodnocení použitelnosti a způsobilosti měřidla (PM, TM)	Požadavek na centrování výroby
$p_{AZ} < 34\%$	Nepoužitelné, nezpůsobilé	Extrémní požadavek na centrování výroby
$34\% \leq p_{AZ} < 87.6\%$	Podmíněně použitelné, nezpůsobilé	Zvýšený požadavek na centrování výroby
$p_{AZ} \geq 87.6\%$	Použitelné, způsobilé	Standardní požadavek na centrování výroby

Závěrem lze konstatovat, že nekritické trvání na bezpodmínečném plnění požadavků zákazníků na způsobilosti všech používaných měřidel může zbytečně zpochybňovat používání doposud využívaných měřicích systémů.

Není tedy nutné rigidně přistupovat na požadavky VDA-5 a ISO 22514-7:2021 [7], ale je možné v souladu s ČSN EN ISO 14253-1:2023 [8] v praxi používat mnohem širší spektrum měřidel splňující metrologické požadavky, které jsme schopni garantovat provedením kalibrace daného měřidla s dostatečně nízkou hodnotou nejistoty měření, což umožňuje optimalizaci využití těchto měřidel. Zde se otevírá prostor pro působnost kalibračních laboratoří s dostatečně kvalifikovaným personálem a odpovídajícím technickým vybavením, jako je ČMI Brno.

Literatura

- [1] MONTGOMERY, D. C. *Introduction to Statistical Quality Control*. Hoboken: John Wiley & Sons. Inc. 2005. 759 p. ISBN 0-471-65631-3.
- [2] BALLA, J.; PROCHAZKA, S. and DUONG, V. Y. Evaluation of projectile ramming process in new and worn smooth barrels of guns. *International Journal of Mechanics*. 2013. vol. 7. no. 2. p. 136-144. ISSN 1998-4448.
- [3] Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii.
- [4] TNI 01 0115:2009 Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM).
- [5] TNI 01 4109-3:2011 Nejistoty měření – Část 3: Pokyn pro vyjádření nejistoty měření (GUM:1995) (Pokyn ISO/IEC 98-3).
- [6] ČSN ISO 22514-7:2014 Statistické metody v managementu procesu – Způsobilost a výkonnost - Část 7: Způsobilost procesů měření.
- [7] ISO 22514-7:2021 Statistical methods in process management – Capability and performance - Part 7: Capability of measurement processes.
- [8] ČSN EN ISO 14253-1:2023 Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením –

- Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi.
- [9] VDA-5; 3. české vydání 2022; ISSN 0943-9412, Česká společnost pro jakost, Praha, www.csq.cz.
- [10] DIN 863-1:2017-02 Geometrical product specifications (GPS) - Micrometers – Part 1: Micrometers for external measurements; maximum permissible errors.
- [11] ČSN EN ISO 13385-1:2020 Geometrické specifikace produktu (GPS) - Rozměrové měřicí vybavení - Část 1: Konstrukce a metrologické charakteristiky posuvných měřidel (Norma k přímému použití jako ČSN).

Přehled použitého značení a zkratk

AZ	pole přijetí MS (acceptance zone)
AZ_{ACC}	pole přijetí pro vyhodnocení použitelnosti MS (dle ČSN ISO 14253-1:2018)
AZ_{CAP}	pole přijetí pro vyhodnocení způsobilosti MS (dle VDA 5 a ISO 22514)
c_g	index způsobilosti MS hodnotící jeho přesnost
c_{gk}	index způsobilosti MS hodnotící jeho správnost a preciznost
C_{MS}	hodnota ukazatele způsobilosti MS
E_{MPE}	maxim. dovolená chyba pro hlavní čelisti PM a TM
f_{EVR}	stupeň volnosti odchylky opakovatelnosti MS
f_{LIN}	stupeň volnosti odchylky linearity MS
g_a	koeficient rozšíření kombinované nejistoty měření (dle ČSN EN ISO 14253-1:2018)
k, k_s	koeficient rozšíření kombinované nejistoty měření u_c pro výpočet rozšířené nejistoty měření U (dle ČSN EN ISO 14253-1:2014)
L_j	jmenovitá délka
L_k	konvenční hodnota délky
ΔL	odchylka délky
LSL	dolní mez specifikace
MPE	maxim. dovolená chyba MS (maximal permissible error) - obecně
MS	měřicí systém
MS_{LIN}	střední kvadratická odchylka linearity MS (Lack of Fit Mean)

MS_{EVR}	střední kvadratická odchylka opakovatelnosti MS (Pure Error Mean Square)
n	počet měření
p_{AZ}	poměr velikosti pole přijetí AZ_{ACC} k "použitelné" toleranci TOL_{ACC} v [%]
Q_{MS}	hodnota poměru způsobilosti MS
RE	hodnota dostatečné rozlišitelnosti MS
S_{MPE}	maxim. dovolená chyba pro vedlejší čelisti PM
s_g	směrodatná odchylka naměřených hodnot (standard deviation of the measurement values).
SS_{EVR}	vlastní reziduální součet čtverců (Pure Error)
SS_{LIN}	složka adekvátnosti zvoleného matemat. Modelu (Lack of Fit)
$SS_{rezidual}$	rozdělení chyby zvoleného matemat. modelu
TOL	toleranční pole měřeného rozměru (specified tolerance range)
TOL_{ACC}	"použitelná" hodnota tolerance MS
TOL_{MIN}	minimální hodnota tolerance MS
TOL_R	požadovaná hodnota tolerance MS
U, U_{MS}	rozšířená nejistota měření (MS)
u_{BI}	standardní nejistota měření způsobená vlivem vychýlení
u_c, u_{MS}	standardní kombinovaná nejistota měření (MS)
u_{CAL}	standardní kombinovaná nejistota měření použitého etalonu
U_{CAL}	rozšířená nejistota měření při kalibraci použitého etalonu
U_E	rozšířená nejistota měření způsobená vlivem použitého etalonu
u_{EVR}	směrodatná odchylka (opakovatelnost MS)
u_{LIN}	standardní nejistota měření způsobená vlivem linearity MS (směrodatná odchylka)
U_{MS}	rozšířená nejistota měření MS
USL	horní mez specifikace
x_i	měřená hodnota (měřené hodnoty) pro výpočet směrodatné odchylky (u_{EVR}, s_g)
x_e, x_m	hodnota použitého etalonu – etalonová hodnota (standard's true value)
\bar{x}_g	průměrná naměřená hodnota (average measurement value),



ÚŘAD PRO TECHNICKOU
NORMALIZACI, METROLOGII
A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ

<https://www.unmz.cz/obecne/uredni-deska/nabidka-sluzebnich-mist/>

ÚNMZ nabízí tyto benefity:

- pružná pracovní doba, 5 týdnů dovolené, 5 dnů zdravotního volna (sick days)
- příspěvek na stravování formou elektronických stravenek
- příspěvek na penzijní připojištění
- možnost dalšího vzdělávání, jazykové kurzy

METROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY PŘENOSNÝCH ULTRAZVUKOVÝCH MĚŘIDEL RYCHLOSTI VODNÍHO PROUDU

Ing. Michal Žoužela, Ph.D.;
Ing. Pavel Zubík, Ph.D.;
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.; Bc. Renata Khainová;
Bc. Pavel Orság; Vojtěch Vachta

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav vodních staveb, Laboratoř vodohospodářského výzkumu*

1 Úvod

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

Obvykle se pro měření bodové rychlosti proudu používají vodoměrné vrtule s rotačním (propelerovým) prvkem. V posledních letech byla pro oblast legální metrologie ČR schválena i měřidla elektromagnetická indukční (EMI měřidla). Oba typy měřidel jsou v současnosti využívány subjekty, které jsou podle § 21 zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů, autorizovány pro úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou.

Existují však i měřidla využívající jiných principů. Takovými jsou měřidla pracující s odrazem ultrazvukového (UZV) vlnění od kapalinou unášených částic či drobných bublinek plynu. Tato měřidla rozšiřují svým uživatelům možnosti při měření bodové či průměrné rychlosti vodního proudu v definovaném objemu, případně podél radiály (na svislici). V řadě případů mohou tato měřidla přinést zrychlení měřicího procesu, větší komfort a jistotu při měření a jeho následném vyhodnocení. Některá z těchto měřidel je možné taktéž použít pro měření v profilech kanalizačních tratí se znečištěnou odpadní vodou, která obsahuje látky ulpívající běžně na povrchu propeleru vodoměrné vrtule a znemožňující dosažení jednotnosti a správnosti měření.

Dodejme, že v harmonizované normě ČSN EN ISO 748 [1] vydané v červnu 2023, která je zásadním předpisem definujícím způsoby měření průtoku v profilech s volnou hladinou, jsou nově zavedeny obě z výše popsaných UZV metod (stanovení bodové i svislicové rychlosti).

Některé měřicí skupiny (i subjekty autorizované pro úřední měření) používají tato „nová“ měřidla rychlostí, nemohou je však využívat pro potřeby úředního měření.

Na základě podnětů a diskuzí se zástupci Úřadu pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), Českého metrologického institutu (ČMI), Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR (SOVAK ČR) a s řadou subjektů autorizovaných pro úřední měření byly v roce 2023 a 2024 zpracovány dva úkoly Plánu rozvoje metrologie (PRM) zabývající se posouzením použitelnosti měřidel využívajících UZV princip pro měření rychlosti vodního proudu. Oba na sebe navazující úkoly se zabývaly možnostmi využití předmětných přenos-

ných UZV měřidel bodových a svislicových rychlostí pro oblast úředního měření průtoku.

Úkoly se věnovaly dvěma typům měřidel. Prvním z nich je měřidlo FlowTracker2, jehož výrobcem je společnost SonTek. Jedná se o měřidlo typu ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) pro měření bodové rychlosti proudu, součástí výstupu z jeho vyhodnocovací jednotky je kompletní vyhodnocený průtok profilem. Druhým měřidlem je NivuFlow Stick od společnosti NIVUS GmbH, které umožňuje měření a vyhodnocení průměrné rychlosti na měrné svislici za využití principu AECV (Acoustic Echo Correlation Velocimeter). Postupným traverzováním s měřidlem přes šířku měrného profilu je možné vyhodnotit taktéž celkový průtok.

Výstupy ve formě dvou závěrečných zpráv [11, 12] byly rozděleny na teoretickou a experimentální část. Teoretická část úkolu se věnovala zejména popisu principů měření, zkušenostem s měřením předmětnými měřidly a tématům spojeným s možnostmi jejich kalibrace.

Experimentální část úkolu byla zaměřena na řadu dílčích témat. V oblasti metrologických charakteristik jsme se věnovali posouzení mezilehlé preciznosti (replikovatelnosti) a variability (rozptylu) měřených rychlostí. Posoudili jsme i výsledky v souvislosti se stabilitou měření velmi nízkých rychlostí.

Hlavní závěry plynoucí z provedených prací a dalších zkoušek jsou představeny v následujícím příspěvku.

Měřidla jsme podrobili i řadě dalších zkoušek, které měly prokázat jejich využitelnost při reálném měření. Z těchto prací je v závěru příspěvku představen stručný souhrn.

2 UZV měřidla typu ADV a AECV

Měřidla typu vodoměrná vrtule nebo EMI měřidla byla v rámci PRM v minulých letech podrobena rozsáhlým experimentálním pracím, proto již byla doporučena k použití pro provádění úředního měření podle metrologického předpisu MP 010 [5]. Segment UZV měřidel typu ADV (FlowTracker2) a AECV (NivuFlow Stick) však těmito dlouhodobými experimentálními zkouškami neprošel. V následujících odstavcích budou měřidla tohoto typu blíže popsána. Zabýváme se zde pouze technickými a metrologickými aspekty při měření bodové, resp. svislicové rychlosti předmětnými měřidly. Validace postupů a způsobů volby počtu bodů na svislici, počtu svislic a výpočtu průtoku není součástí našich prací. Podrobné informace jsou součástí rozsáhlých návodů pro obsluhu [8, 9] k oběma měřidlům.

2.1 ADV měřidlo – FlowTracker2

UZV měřidlo FlowTracker2 se jako většina podobných přístrojů skládá ze snímače bodové rychlosti, kabelu a vyhodnocovací jednotky, které jsou při měření upevněny na speciálním soutyči. Snímač měřidla se dodává pro měření jednotlivých složek vektoru bodové rychlosti ve dvou- nebo třírozměrné nebo třírozměrné variantě (2D/3D). 3D varianta snímače společně s vyhodnocovací jednotkou je patrná z **obr. 1**.

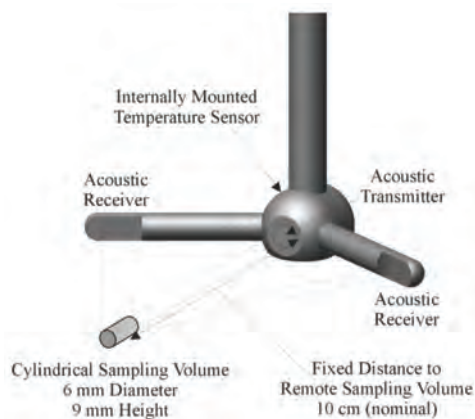
Z metrologického hlediska je velmi zajímavá informace uvedená v technických podkladech, že měřidlo (snímač) není třeba podrobovat pravidelné opakované kalibraci, jelikož je továrně invariantně (neměnně) nastaveno. Měřidlo (resp. SW vyhodnocovací jednotky) tak pro tuto základní metrologickou činnost není příliš vhodně uzpůsobeno.

Stanovení rychlosti měřidlem je založeno na vyhodnocení změny kmitočtu vysílaného vlnění po jeho odrazu od částic unášených proudící kapalinou. Průtokoměry na Dopplerově principu tedy, přesněji vzato, měří rychlosti pohybu částic, nikoli vodního proudu (kapaliny). Odrazné částice (nehomogenity) ve vodě jsou tvořeny bublinami nebo pevnými odraznými částicemi [4, 8, 13].

FlowTracker2 je vybaven snímači oddělenými od vysílače UZV signálu. Vysílač generuje signál v úzkém svazku o průměru 6 mm, jehož odraz od částic je zachycen snímači podle **obr. 2**. V případě 2D varianty jsou snímače dva, v případě 3D varianty jsou snímače tři. Pevné a neměnné vzdálenosti vysílače a snímačů zajišťují hardwarovou opakovatelnost měření bodové rychlosti v objemu kapaliny cca 0,3 cm³.



Obr. 1: Vyhodnocovací jednotka, kabel a snímač měřidla FlowTracker2 – 3D verze



Obr. 2: Pozice a velikost měrného objemu u 2D varianty snímače

Principiálně je vysílačem generován krátký puls o známé frekvenci, který je po odrazu od částic transportovaných proudem zaznamenán přijímači. Z posunu vyslané a odražené frekvence je možné usuzovat na rychlost příslušné částice. Ve všech fázích procesu se pracuje s poměrem síly signálu a okolního šumu. Výrobce udává, že správnou volbou optimalizace algoritmu zpracování signálu je možné zajistit měření v rychlostním rozsahu do $\pm 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s tím, že velmi dobrých výsledků je možné dosáhnout i pro rychlosti pod $0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

V souvislosti s měřením přístroj neustále vyhodnocuje celou řadu parametrů a o výsledcích informuje uživatele různou formou a v různých momentech měření na displeji vyhodnocovací jednotky. Z hlediska měření bodové rychlosti vodního proudu je nejdůležitějším parametrem hodnota SNR (Signal-to-Noise Ratio). Představuje poměr odraženého UZV signálu vzhledem k okolnímu šumu. Hodnota je vyjadřována v logaritmických jednotkách v dB a za běžných podmínek by měla být vyšší než 10 dB. Nižší hodnoty SNR jsou především známkou nízkého počtu odrazných částic v proudu měřené kapaliny. V souvislosti s hlášením je třeba uvést, že na první pohled jich přichází velmi mnoho a pro nezkušeného měřiče mohou představovat jistou překážku v rozhodovacím procesu, zvláště při měření v terénu.

2.2 AECV měřidlo – NivuFlow Stick

UZV měřidlo NivuFlow Stick se skládá z rychlostního snímače, kabelu a měřicího převodníku, jež jsou upevněny na soutyči tak, jak je patrné z **obr. 3**. Měřidlo není vybaveno vyhodnocovací jednotkou: tu představuje libovolný mobilní telefon, tablet nebo PC, které se k převodníku připojí pomocí bezdrátové lokální sítě WLAN, jež je generována převodníkem v okolí do cca 20 m.

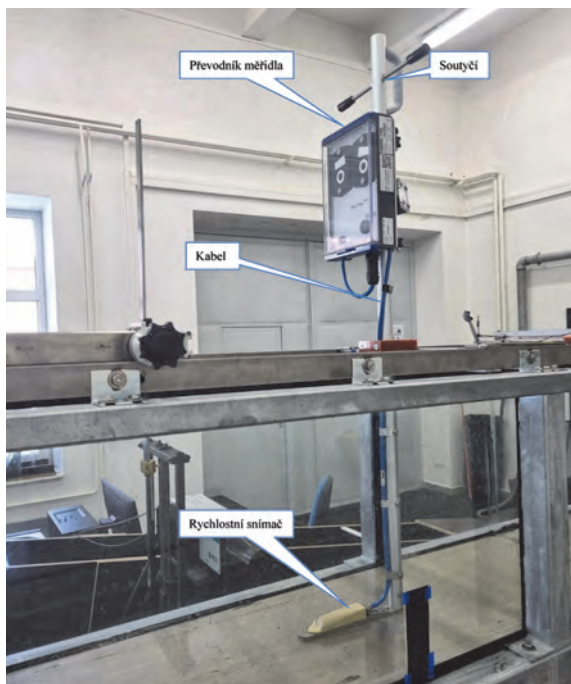
Snímač měřidla se dodává v klínovém provedení a UZV signál je emitován okolo radiály, která je vedena ve svislé rovině protiproudě směrem vzhůru od snímače pod úhlem cca 55° od vodorovné roviny. Na této radiále jsou stanoveny rychlosti v měřicích oknech, rovnoměrně rozložených po hloubce proudu v maximálním počtu 16 oken. Z těchto měření je následně usuzováno na průměrnou rychlost na svislici.

Stanovení průměrné rychlosti na svislici pomocí měřidla NivuFlow Stick je prováděno AECV metodou, tedy křížovou korelací mezi dvěma po sobě jdoucími odraženými signály od jedné unášené částice proudem tak, jak je naznačeno na **obr. 4**. Vysílačem, který je současně i přijímačem UZV signálu, je vyslán UZV puls, který se odrazí od unášené částice a vrací se zpět do vysílače/přijímače signálu. Pokud je tento proces opakován znovu v určitém známém čase, obdržíme druhý časový snímek. Křížovou korelací mezi těmito dvěma snímky lze identifikovat pozici částice v daném měřicím okně. Stanovením uražené vzdálenosti částice v příslušném okně za daný čas lze stanovit příslušnou rychlost proudu. Vzhledem k tomu, že lze určit i místo odrazu od příslušných částic, je možné určit jejich výškovou polohu a přiřadit je k jednomu z 16 měřicích oken.

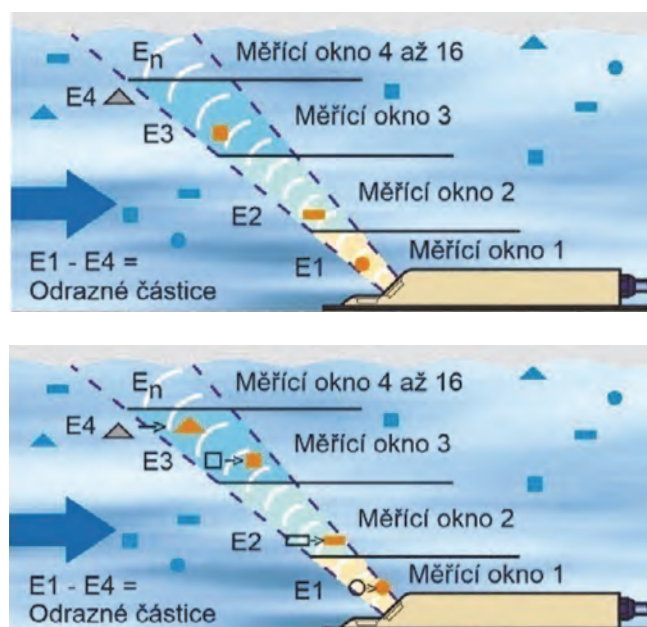
Stanovení průměrné rychlosti na svislici je následně určeno integrací po výšce celé svislice, které je tvořena

rychlostním profilem sestaveným z měřených a tzv. fiktivních rychlostí, jež byly předepsaným způsobem dopočteny v blízkosti dna a hladiny (v oblastech mrtvého pásma) [9,13].

Během měření jednotlivých svislicových rychlostí je na displeji zobrazována i kvalita zpracovávaného signálu, označovaná jako „Quality Trigger min“. Čím více vhodných částic je při analýze signálu k dispozici, tím větší hodnota daného parametru vyjádřená v procentech je na displeji zařízení indikována. Implicitní nastavení požadované minimální hodnoty činí 20 %. Ukazuje se, že měření je však bez problémů možné realizovat i při hodnotách 5 %.



Obr. 3: Měřidlo NivuFlow Stick při instalaci v měrném žlabu laboratoře



Obr. 4: Ukáзка měření a zpracování rychlostí (AECV) unášených částic ze dvou časových snímků v jednotlivých měřicích oknech [9, 13]

2.3 Posuzované typy UZV měřidel

Experimentálním zkouškám byla podrobena celkem čtyři UZV měřidla rychlosti proudu, specifikovaná v **tab. 1**. Tři z těchto UZV měřidel byla určena pro měření bodové rychlosti vodního proudu (ADV – FlowTracker2) a jedno pro měření průměrné rychlosti na měrné svislici (AECV – NivuFlow Stick).

Jedno měřidlo FlowTracker2 ve 3D variantě bylo trvale zapůjčeno společností Aquamonitoring, s.r.o. (AQ), která je obchodním zástupcem tohoto dovozce měřicí techniky. Další dva kusy identického měřidla ve 2D variantě byly v pravidelných intervalech zapůjčovány od brněnské pobočky Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Měřidlo NivuFlow Stick bylo zapůjčeno přímo od německého výrobce NIVUS GmbH prostřednictvím jeho zástupce – společnosti DHI a.s.

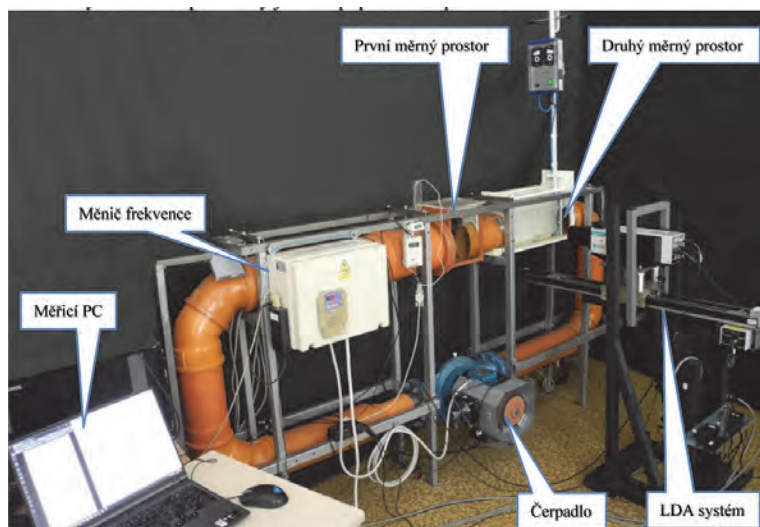
3 Zkušební trať a instalace UZV měřidel při zkouškách

Zkušební trať, kterou naše pracoviště využívá pro různé typy měřidel rychlostí vodního proudu, byla vybudována v roce 2003 [6]. V roce 2009 byla v rámci úkolu PRM [3] rekonstruována a vybavena mimo jiné i regulací teploty oběhové kapaliny. V současné době je trať provozována způsobem, kdy je referenční rychlost v_{ref} vázána na frekvenci otáčení n oběhového čerpadla a současně i na teplotu kapaliny v okruhu. Stanovení této v_{ref}/n charakteristiky je prováděno a opakovaně kontrolováno za pomoci bezkontaktní optoelektronické metody – LDA.

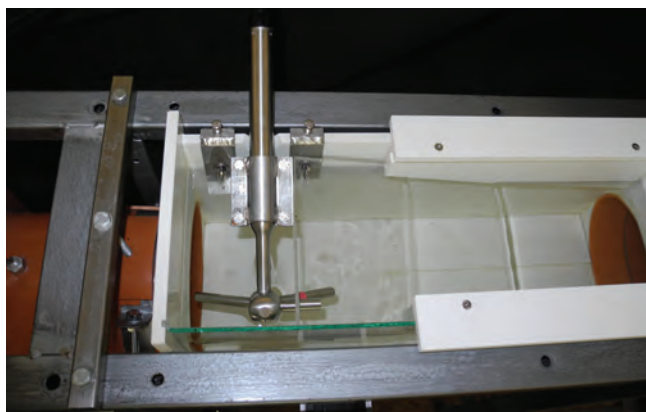
Pro potřeby výzkumných prací se dvěma UZV měřidly bylo třeba zkušební trať pro tato měřidla v roce 2023 upravit [11]. Nyní je trať vybavena dvěma měrnými prostory tak, jak je patrné z **obr. 5**, a je tak možné ji využít pro různé typy měřidel rychlostí vodního proudu.

Okruh je zhotoven z trub a tvarovek s vnitřním průměrem 150 mm a 200 mm. Měrný prostor má svislé rovinné boční stěny ze skla kvůli dobré přístupnosti pro optickou měřicí metodu. K pohonu je použito odstředivé čerpadlo o příkonu 1,5 kW řízené měničem frekvence. Je tak možné v měrném prostoru s dostatečnou opakovatelností simulovat rychlosti v rozsahu od jednotek $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ do $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Měrná trať je napojena na výkonný chladicí systém, který umožňuje dosáhnout a stabilizovat náplň měrné trati na teplotách od $2 \text{ }^\circ\text{C}$ výše. Poproudně **první měrný prostor** umožňuje stále upnout tělo vodoměrné vrtule nebo jakékoli jiné měřidlo bodových rychlostí. Pro homogenizaci rychlostního pole v měrném prostoru je protiproudění úsek potrubí vybaven vostínou.

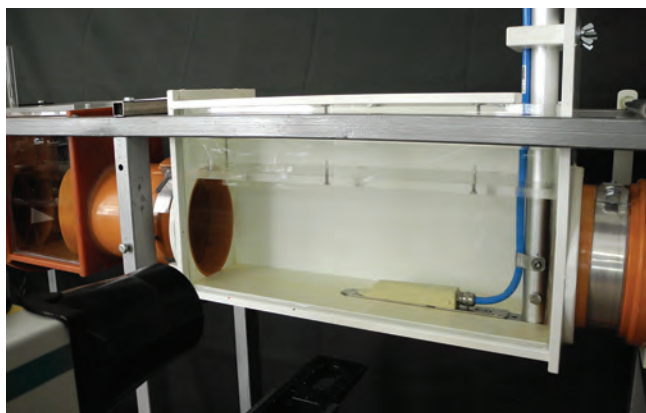
Poproudně **druhý měrný prostor** je dimenzován tak, že umožňuje instalovat sondu měřidla FlowTracker2 pomocí držáku (speciálně zhotoveného pro daný účel) tak, jak je vidět na **obr. 6**. Současně rozměry druhého měrného prostoru umožňují upevnění na pozici a provádění měření také s měřidlem NivuFlow Stick ve smyslu **obr. 7**. Druhý měrný prostor má dva různé odnímatelné stropy, pro každé testované měřidlo zvlášť.



Obr. 5: Celkový pohled na zkušební trať a uspořádání měřicího pracoviště s měřidlem NivuFlow Stick



Obr. 6: Instalace sondy měřidla FlowTracker2 v druhém měrném prostoru zkušební trati – horní pohled



Obr. 7: Instalace měřidla NivuFlow Stick v druhém měrném prostoru zkušební trati – boční pohled

Zkoušky s UZV měřidly byly prováděny za teploty okolo 23 °C. Vliv teploty na vykazované parametry předmětnými měřidly nebyl součástí experimentů. Za těchto stabilních teplotních podmínek existuje pouze jedna jednoznačná a v čase neměnná v_{ref}/n charakteristika. Při experimentálních zkouškách se všemi UZV měřidly nebylo s absolutní hodnotou

referenční rychlosti pracováno. Veškeré získané výsledky jsou vztaženy vždy k otáčkám n čerpadla zkušební trati. Tento přístup je, vzhledem ke sledování dlouhodobé opakovatelnosti měřených parametrů (časové stability), zcela vyhovující.

Pro měření teplot ve zkušební trati byly využity dva ponorné termistorové teploměry. Součástí měření byla i kontrola hodnoty měrné vodivosti vody ve zkušební trati. Ta byla stanovena přenosným konduktometrem a pohybovala se dlouhodobě v okolí hodnoty $410 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Pro zkoušky realizované v roce 2023 byla použita běžná pitná voda s tím, že do prostoru zkušební trati nebyly přidávány žádné odrazné částice. Začátkem roku 2024 byla učiněna změna: do trati bylo přidáno malé množství odrazných částic. V tomto případě byla použita zinková běloba v množství cca 1 ml, s velikostí částic $0,5 \mu\text{m}$. Vyhodnocení dopadu této změny na měřené parametry je blíže popsáno v kapitole 5.3.

4 Cíl experimentálních prací

Cílem experimentálních prací bylo v relativně pravidelných intervalech po dobu 16 měsíců a v podmínkách zkušební trati s kalibrovanými proudovými poměry zjistit relevantní data, vykazovaná předmětnými UZV měřidly, a na základě jejich zpracování se následně vyjádřit k tématům:

- mezilehlé preciznosti měření vykazovaných rychlostí předmětnými UZV měřidly;
- variability vykazovaných rychlostí jednotlivých UZV měřidel;
- stability nízké rychlosti měřené UZV měřidly.

Uvedené řešení oblasti experimentálních a z nich vyplývající skutečnosti jsou dále popsány v následujících kapitolách.

Dodejme, že jsme se v rámci PRM věnovali i dalším oblastem zkoušek, které byly realizovány v našich laboratorních hydraulických tratích, v akreditované zkušební vodoměrných přístrojů v Bratislavě nebo *in-situ* ve stokových sítích. Jednalo se o následující témata:

- posouzení vykazované rychlosti UZV měřidla za podmínek nadkritického proudění;
- posouzení přesnosti měření (stanovení nejistoty bodové a svislicové rychlosti) v poměrech simulujících podmínky reálných měrných profilů;
- vyhodnocení výsledků opakovaných kalibrací měřidel v akreditované kalibrační laboratoři;
- posouzení chování měřidel při použití v reálných podmínkách proudu odpadních vod.

Skutečnosti získané v rámci výše uvedených témat nejsou součástí tohoto příspěvku. V kapitole 6 se zmíníme o zásadních zjištěních z těchto oblastí. V budoucnu budeme tyto specifické výsledky prezentovat v publikacích určených pro úřední měřiče a specialisty v daném oboru – vodohospodáře na stránkách příslušných odborných časopisů.

5 Výsledky experimentálních prací

V následujících odstavcích budou společně prezentovány výsledky experimentálních prací realizovaných za oba dva roky řešení úkolu PRM.

5.1 Obecné informace a postup měření

Měření s oběma typy UZV měřidel bylo realizováno v roce 2023 prakticky v pravidelných třítýdenních intervalech. V roce 2024 byl tento interval prodloužen na dvojnásobek. Přehled počtu měřicích cyklů jednotlivých měřidel za celé sledované období je uveden v tab. 1.

První dvě počáteční měření, která jsme s trvale zapůjčenými měřidly v roce 2023 prováděli, sloužila k nastavení předmětných měřidel a seznámení se s jejich SW. Současně na základě dosažených výsledků těchto počátečních měření byly mírně upravovány některé tvary a rozměry usměrňovacích prvků zkušební trati. První dva měřicí cykly prováděné s oběma měřidly tak byly z vyhodnocení odebrány; počet měřicích cyklů zahrnutých do vyhodnocení je patrný z posledního sloupce **tab. 1**.

Tab. 1: Přehled posuzovaných měřidel a počet s nimi realizovaných měřicích cyklů

UZV měřidlo	Majitel	Označení měřidla v textu	Počet všech měřicích cyklů	Počet měřicích cyklů zahrnutých do vyhodnocení
FlowTracker2	Aquamonitoring, s.r.o.	FlowTracker2 (AQ)	19	17
FlowTracker2	ČHMÚ	FlowTracker2 (ČHMÚ_2)	11	11
FlowTracker2	ČHMÚ	FlowTracker2 (ČHMÚ_3)	11	11
NivusFlow Stick	NIVUS GmbH	NivusFlow Stick	19	17

Celý rychlostní rozsah zkušební trati byl rozdělen do 13 úrovní, které odpovídaly řídicím frekvencím generovaným měničem frekvence motoru oběhového čerpadla. Oba parametry (otáčky a rychlosti) byly měřeny opakovaně $N=10$. Z těchto deseti měření byly následně vyhodnoceny veličiny hodnota průměrných otáček čerpadla n_{prum} a průměrná rychlost vykazovaná posuzovaným měřidlem v_{prum} . Současně byla pro každý řádek vyhodnocena i výběrová směrodatná odchylka S_v měřených rychlostí. U měřidel FlowTracker2 byla shodně nastavena doba měření rychlosti na 10 s. U měřidla NivusFlow Stick byla doba měření nastavena na 30 s.

Z uvedených měření byly průběžně sestavovány dva grafy. Prvním z nich je závislost průměrné vykazované rychlosti na otáčkách čerpadla zkušební trati (kalibrační přímka) $v_{prum} = f(n_{prum})$, druhý představuje závislost směrodatné odchylky $S_v = f(n_{prum})$ taktéž na otáčkách. Grafy sloužily pro okamžitou kontrolu správnosti měření a funkce UZV měřidel. V obou případech byly v grafu zobrazenými hodnotami proloženy za pomoci čtyř parametrů a , b , c , a d funkce lineárního typu ve tvaru

$$v_{prum} = a \cdot n_{prum} + b, \text{ resp.} \quad (1)$$

$$S_v = c \cdot n_{prum} + d, \quad (2)$$

kteří byly dále využity pro veškerá vyhodnocení. S jednotlivými páry průměrných hodnot se tak již dále nepracovalo.

Pro upřesnění dodejme, že v případě měření s NivusFlow Stick byly hodnoty vystihující směrodatnou odchylku S_v vzhledem k dosahovaným výsledkům vystiženy dvěma funkcemi za pomoci již zmíněných parametrů c , d , a za nejvyšších otáček čerpadla (poslední dvě rychlostní úrovně) parametry e , f .

5.2 Mezilehlá preciznost měření

V počátku experimentálních prací jsme pro porovnání těsnosti shody mezi výsledky jednotlivých měřicích cyklů používali termín „opakovatelnost“. Podmínky opakovatelnosti představují prakticky neměnné okrajové podmínky ve všech aspektech měřicího procesu (stejná metoda měření, stejný operátor, stejné měřidlo, stejné místo měření, stejný objekt měření, opakování měření v krátkých intervalech). Námi prováděná měření tyto podmínky splňují, s výjimkou jednoho aspektu, kterým je požadavek, že jednotlivá měření (měřicí cykly) mají být prováděna po sobě v krátkých intervalech (časových úsecích). Z charakteru našeho dlouhodobého měření tak nemůžeme korektně hovořit o opakovatelnosti. Nabízí se tak využít termínu „reprodukovatelnost měření“. Ten ovšem zahrnuje (umožňuje) změny prakticky ve všech uvedených aspektech měřicího procesu, a taktéž ne zcela vystihuje charakter našeho výzkumného záměru. Pro tyto účely tak metrologická praxe využívá termínu – „mezilehlá preciznost měření“, jež je blízká podmínkám opakovatelnosti s tím, že zahrnuje rozšířené časové období za ostatních neměnných aspektů měřicího procesu. V některých pramenech [7] je užíván termín „replikovatelnost“, který je velmi výstižně popisován jako schopnost pravidelné opakovatelnosti.

Pokud bychom vynesli závislost rychlosti vykazované jednotlivými měřidly na otáčkách čerpadla zkušební trati ve smyslu rovnice (1) všech pravidelně opakovaných měření do jednoho grafu, získali bychom vzhledem k relativně malým odchylkám řadu překrývajících se přímk. Daleko výstižnější je proto zobrazit relativní odchylky trendů jednotlivých měření od některého měření vztažného. Tím bylo zvoleno to, které je získáno průměrem ze všech provedených měření pro každou zvolenou frekvenci oběhového čerpadla. Došlo tak k jistému „normování“ neustále přibývajících měření, resp. získaná vztažná hodnota je statistickým vyjádřením tzv. výběrového průměru, ke kterému je vztažena i následně dále prezentovaná nejistota měření získaných dat. Ukázka grafického vyjádření výsledků pro FlowTracker2 (AQ) je patrná z **grafu 1**. Aby bylo možné výsledky porovnávat i s jinými typy měřidel bodových rychlostí, především pak s vodoměrnými vrtulemi, byly hodnoty otáček čerpadla vyjádřeny v hodnotách rychlostí vykazovaných příslušným měřidlem ve zkušební trati.

Hodnoty v **grafu 1** jsou grafickým vyjádřením mezilehlé preciznosti m provedených měření (měřicích cyklů). Se vzrůstajícím počtem cyklů však dochází ke stále většímu zahušťování plochy grafu, a uvedené vyjádření relativních odchylek se tak stává nepřehledným. Mezilehlá preciznost měření proto byla dále kvantifikována její nejistotou. Její velikost p_{Ac} je definována rozšířenou relativní hodnotou výběrové směrodatné odchylky průměrné

rychlosti stanovené ze všech provedených m měření ve smyslu vztahu

$$p_{Ac} = u_c = 100 \cdot \frac{1}{\bar{v}} \cdot k \cdot s_{\bar{v}} = 100 \cdot \frac{1}{\bar{v}} \cdot k \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Delta \bar{v}_j^2} \quad (3)$$

kde k je koeficient rozšíření uvažovaný hodnotou 2. Pro jednoznačnost uvádíme, že označení nejistoty p_{Ac} je převzato z dokumentu MP 010 [5]. Norma ČSN EN ISO 748 [1] označuje tuto nejistotu jako u_c .

V **grafu 2** je zobrazeno porovnání výsledků relativních rozšířených nejistot pro sledovaná UZV měřidla a hodnot uvedených v [1] platících pro vodoměrné vrtule. Hodnoty v [1] představují reprodukovatelnost parametrů vykazovaných

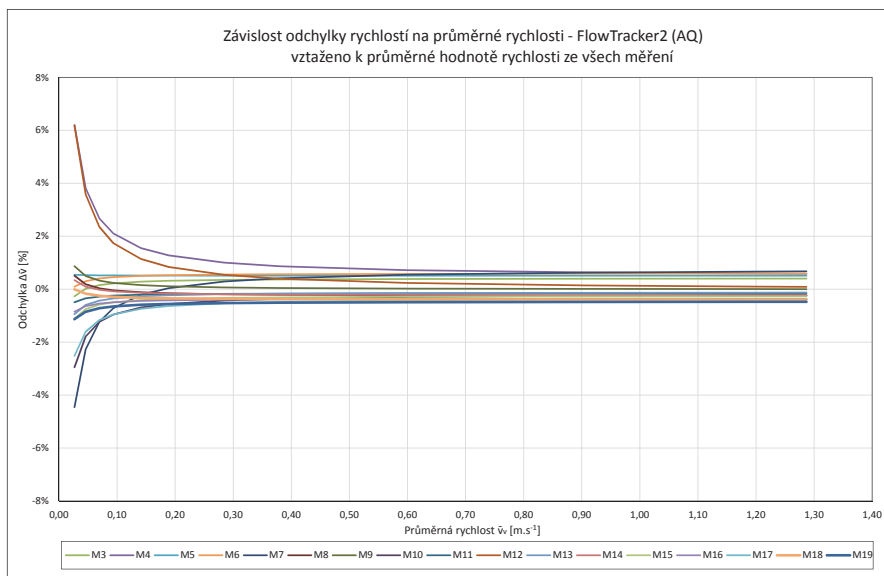
vodoměrnými vrtulemi při mezilaboratorních kruhových porovnáních. Praxe ukazuje, že výsledky dosahovaných nejistot platících pro vodoměrné vrtule jsou pro daný účel (úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou) dostatečné. Vzhledem k tomu, že UZV měřidla mají být použita pro stejné účely jako vodoměrné vrtule, nabízí se pro definování cílené maximální dovolené chyby (MPE), resp. návržení rekalibrační lhůty, využít trendy platící pro vodoměrné vrtule uvedené v **grafu 2**.

Co lze z **grafu 2** vypožorovat, je velmi dobrá shoda ve výsledcích napříč všemi posuzovanými měřidly. V porovnání se závislostmi uvedenými v ČSN EN ISO 748 pro oblast velmi malých rychlostí pod $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ lze pozorovat nižší hodnoty nejistoty představující replikovatelnost (reprodukovatelnost), než jaké jsou uváděny

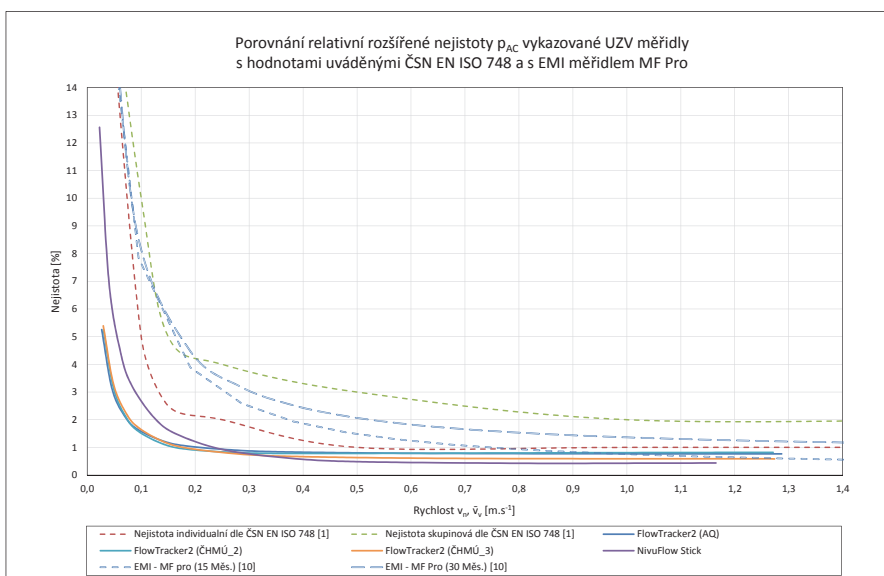
pro vodoměrné vrtule. Ze získaných výsledků se zdá, že při měření za nízkých rychlostí lze v dlouhodobém horizontu obecně očekávat lepší či shodné výsledky jako u vodoměrných vrtulí či EMI měřidla. V oblasti vyšších rychlostí lze deklarovat shodu s vodoměrnými vrtulemi i EMI měřidly.

V této souvislosti jsme do **grafu 2** zanesli i výsledky získané v rámci zpracování úkolů PRM z let 2018 až 2020 [10], které se věnovaly identické problematice se zaměřením na EMI měřidla. Pro nepoužívanější typ EMI měřidla (MF Pro) jsou zde vyneseny průběhy příslušné nejistoty po shodné době sledování (asi 15 měsíců) a po ukončení zkoušek po 30 měsících. Všimněme si, že za srovnatelné časové období (15 měsíců) jsou výsledky všech UZV měřidel výrazně lepší, než tomu bylo u EMI měřidla. Pokud jsme tedy u EMI měřidel přistoupili (na základě výrazně delšího pozorování) k tomu, že doporučená doba mezi po sobě jdoucími kalibracemi by neměla překročit dva roky, je tento požadavek na UZV měřidla z hlediska spolehlivosti taktéž akceptovatelný. S velkou mírou pravděpodobnosti lze z dosažených výsledků na základě provedených měření v období 16 měsíců extrapolovat, že vývoj předmětné nejistoty p_{Ac} zůstane pro 24měsíční období ve vymezených mezích, definovaných ČSN EN ISO 748. To platí za podmínky, že nedojde ke ztrátě měřicí schopnosti daného měřidla.

V případě, že je k dispozici dostatek odrazných částic v proudu kapaliny, prakticky všechna UZV měřidla se chovají v oblasti nízkých rychlostí výrazně lépe, než jako tomu je u vodoměrných



Graf 1: Závislost odchylky rychlostí na průměrné rychlosti vykazované měřidlem – vztaheno k průměrné hodnotě rychlosti ze všech provedených měření



Graf 2: Relativní rozšířená nejistota p_{Ac} pro všechna sledovaná UZV měřidla v porovnání s vodoměrnými vrtulemi a EMI-měřidly

vtulí. V této souvislosti je dobré si uvědomit, že mnohé vodoměrné vrtule prakticky neumožňují provádět korektně měření při rychlostech pod $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V tomto případě je přínos UZV měřidel jednoznačně kladný.

Jednou ze sledovaných událostí je i výměna akumulátorových článků. V několika případech se stalo, že bylo třeba v průběhu našich zkoušek provést jejich výměnu. V takovém případě byl proveden vždy celý měřicí cyklus s indikací vybitého akumulátorového článku, následně byly články vyměněny (dobity) a měřicí cyklus byl proveden ještě jednou. Ukázalo se, že jsme dostali prakticky vždy shodné výsledky. Míra nabití akumulátorových článků, resp. jejich výměna či dobítí, tedy podle našich zjištění nemají vliv na hodnoty měřených parametrů.

5.3 Variabilita rychlostí vykazovaných EMI-měřidly

Rozptýl hodnot měřených rychlostí vykazovaných UZV měřidly v závislosti na čase lze identifikovat tak, že se vzájemně porovnají lineární trendy definované rovnicí (2), jež vystihují vývoj směrodatné odchylky S_v pro 10 čtení na displeji UZV měřidla. Pohled na průběh těchto trendů pro NivuFlow Stick je zobrazen v grafu 3.

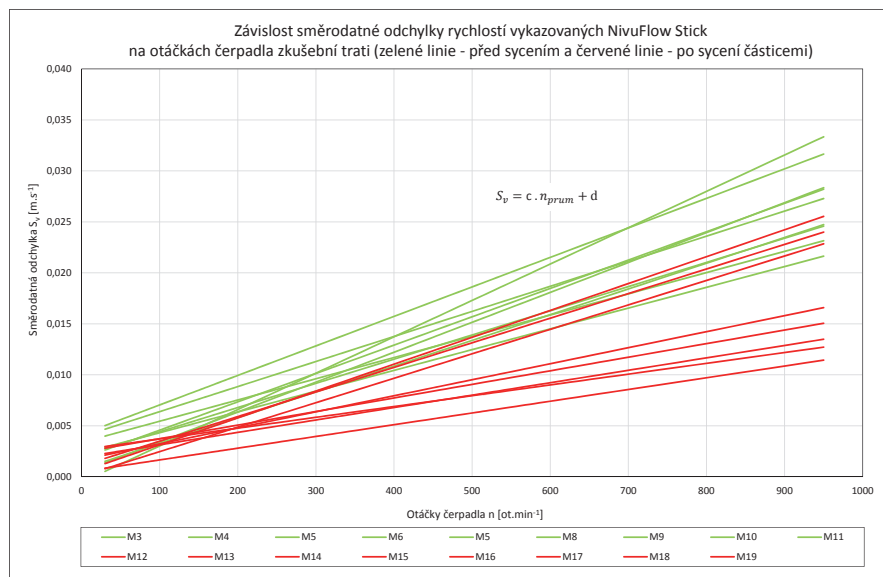
Lze říci, že směrodatné odchylky vystihující míru variability jsou pro obě měřidla v pozorovaném časovém období prakticky neměnné. Vykazované hodnoty se v závislosti na otáčkách čerpadla zkušební trati pohybují pro FlowTracker2 (AQ) v rozmezí $(1-11) \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, resp. $(1-33) \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ pro NivuFlow Stick.

Bylo by nesprávné porovnávat absolutní hodnoty S_v vypočtené z dat získaných při měření s oběma typy posuzovaných měřidel. Zatímco u měřidla FlowTracker2 vystihují směrodatné odchylky variabilitu bodové rychlosti, u měřidla NivuFlow Stick se jedná o variabilitu stanovené průměrné rychlosti na svislici.

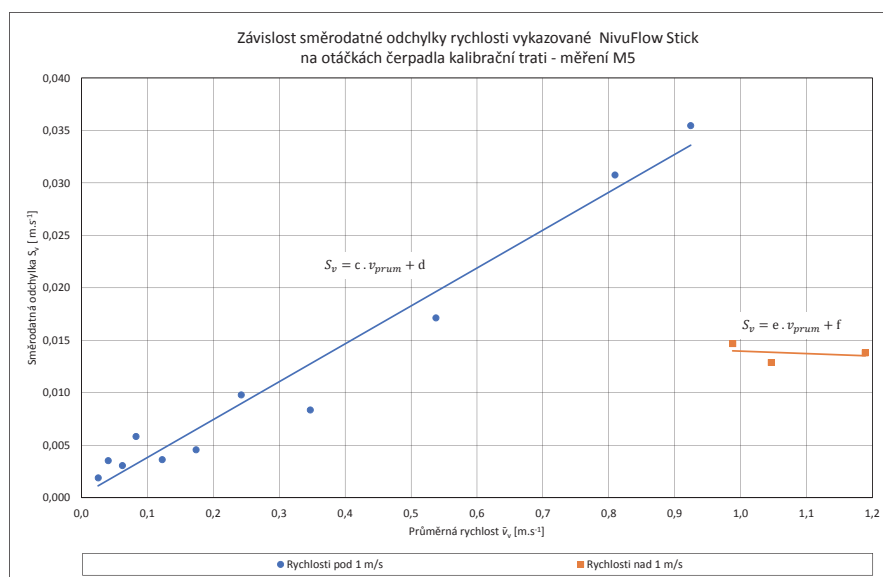
Zdůrazněme, že součástí hodnot prezentované variability je i vliv míry turbulence proudu v profilu instalace měřidel a stability otáček čerpadla zkušební trati. Oba tyto parametry jsou však svými hodnotami pod rozlišovací schopností předmětných měřidel.

Daleko větší vliv na vykazovanou hodnotu má vlastní rozlišitelnost posuzovaných měřidel. Ta je u všech shodně nastavena na $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. U velmi nízkých rychlostí se tak může vliv rozlišitelnosti projevit. Vzhledem k tomu, že však nemáme možnost nastavit rozlišitelnost měřidel na nižší úroveň než uvedenou, musíme pracovat s výsledky takovými, jaké jsou. Pro představu je u všech měřidel pro rychlosti vyšší než $0,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ poměr mezi nejistotou z rozlišitelnosti čtení na displeji a nejistotou p_{Ac} menší než 0,15.

Upozorníme ještě na skutečnost, kterou jsme objevili v souvislosti s měřením a vyhodnocením variability vykazovaných rychlostí u měřidla NivuFlow Stick. V grafu 4 jsou zobrazeny hodnoty jednotlivých směrodatných odchylek příslušných měřených rychlostí pro pátý cyklus měření (M5). Lze pozorovat, že z nějakého nám neznámého důvodu se hodnoty variability měřených rychlostí se vzrůstající rychlostí ve zkušební trati neustále zvyšují a v okolí průměrné rychlosti na svislici $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dojde k jejich náhlému poklesu. Vzhledem k tomu, že se tento jev vyskytuje u všech provedených měření, bylo při měřicím cyklu



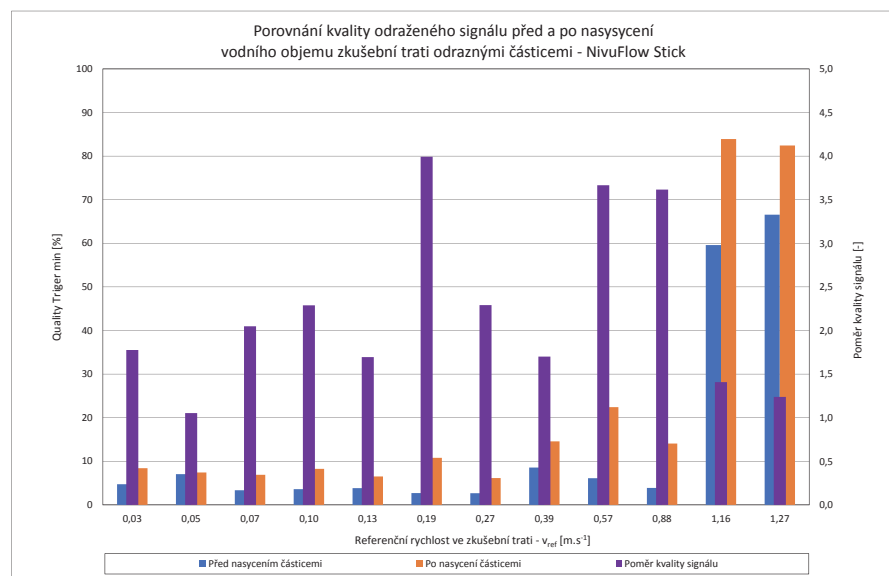
Graf 3: Porovnání variability rychlostí vykazovaných UZV měřidlem vuFlow Stick



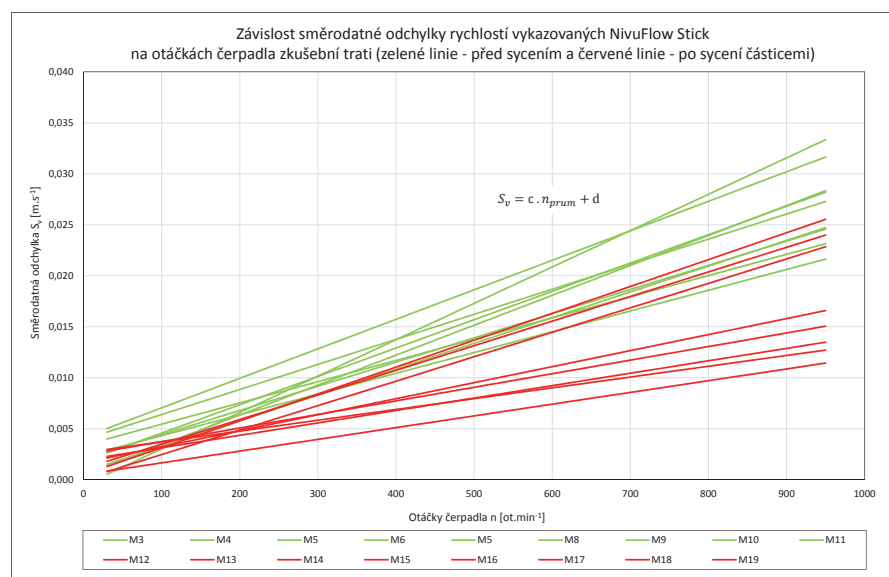
Graf 4: Směrodatné odchylky vykazovaných rychlostí stanovené při pátém měřicím cyklu (M5) – NivuFlow Stick

M5 přidáno několik dalších hodnot v okolí zmíněné hraniční rychlosti. Tento pozorovaný jev byl potvrzen. Z těchto důvodů jsou tak hodnoty směrodatné odchylky pro rychlosti vyšší než $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vystiženy náhradní lineární funkcí s parametry e, f .

Domníváme se, že jde o jisté (z nějakého důvodu nutné) softwarové „ořezání“ zpracovávaného signálu. O systematický vliv pocházející z provozu zkušební trati se nejedná, protože u jiných měřidel toto chování nebylo zaznamenáno. Navíc při zvyšujících se rychlostech nelze logicky předpokládat snižování turbulence proudu vyjádřené absolutní hodnotou směrodatné odchylky vykazované rychlosti. V každém případě na základě takového chování měřidla nelze opakované výsledky vykazovaných rychlostí použít pro analýzu turbulence proudu, protože by byly nevěrohodné.



Graf 5: Kvalita odraženého signálu v závislosti na množství částic v proudu kapaliny – NivuFlow Stick



Graf 6: Variabilita vykazovaných rychlostí v závislosti na množství částic v proudu kapaliny – NivuFlow Stick

Nutno dodat, že v případě vykazované hodnoty průměrné rychlosti na svislici žádné změny v okolí hraniční rychlosti či za ní (za vyšších rychlostí) nebyly pozorovány. Správnost měření rychlosti je zachována.

Již dříve jsme uvedli, že od ledna roku 2024 bylo do vodního prostoru zkušební trati dodáno malé množství zinkové běloby, která měla zajistit vyšší odrazivost UZV signálu při měření předmětnými měřidly.

V grafu 5 jsou ze všech provedených měření vypočteny průměrné hodnoty veličiny Quality Trigger min pro měřidlo NivuFlow Stick. Pro jednotlivé rychlostní úrovně jsou zobrazeny vždy hodnoty této veličiny před nasycením vodního prostoru částicemi a po něm. Fialový sloupec představuje poměr mezi těmito dvěma údaji. Je patrné, že kvalita signálu, ze kterého je generována hodnota rychlosti, se významně zlepšila. Průměrné zlepšení v celém rozsahu měřených rychlostí vyjádřené poměrem hodnoty Quality Trigger min po a před syčením se pohybuje okolo 2,2.

Jak se „sycení“ projevilo na variabilitě měřených dat, lze pozorovat také v grafu 6. Jsou zde označena měření realizovaná před syčením a po něm. Lze pozorovat jisté plošné rozložení lineárních trendů, které naznačuje, že s narůstajícím počtem částic se preciznost měření zlepšuje; variabilita měřených rychlostí vyjádřená směrodatnou odchylkou klesá. Současně však připomínáme, že správnost měření před syčením vodního prostoru částicemi a po něm se nezměnila a zůstává zachována.

Shodnou analýzu jsme realizovali i s měřidlem FlowTracker2. Z ní je taktéž patrné, že po nasycení vodního objemu zkušební trati částicemi došlo ke zlepšení preciznosti měření. Poměr směrodatných odchylek S_v po nasycení a před nasycením částicemi se v průměru pohybuje na úrovni 0,82. Chování je podobné jako u měřidla NivuFlow Stick.

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že ani jedno z posuzovaných měřidel nelze doporučit pro přímé měření absolutní hodnoty fluktuace podélné složky rychlosti vodního proudu. Oběma přístroji zjištěné hodnoty variability měřené rychlosti jsou závislé na množství částic v proudu kapaliny. Současně však platí, že správnost měření hodnoty absolutní rychlosti tak, jak byla popsána v předchozí kapitole, je v deklarovaných mezích zajištěna.

5.4 Stabilita měřidel za nízkých rychlostí

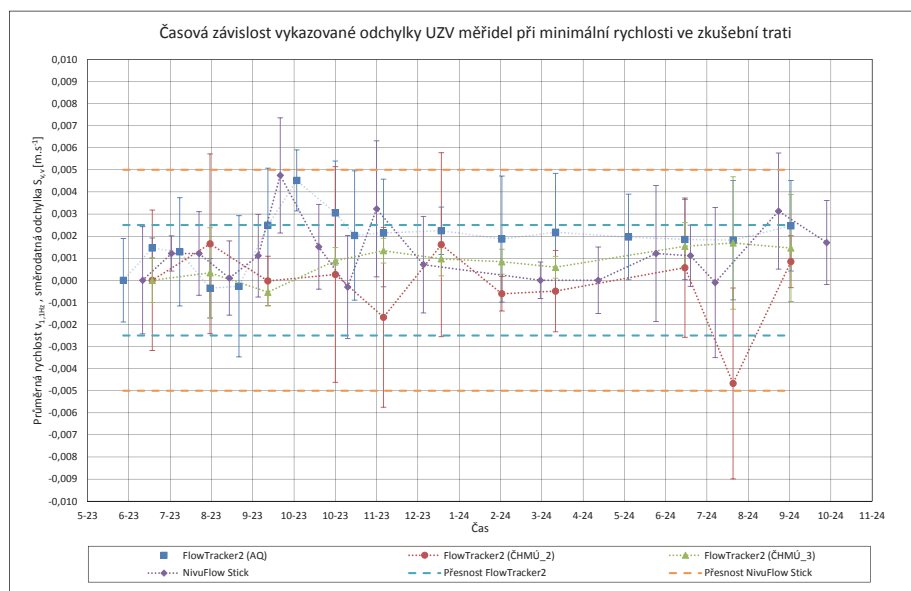
V první fázi zkoušek bylo u obou typů měřidel postupováno tak, že byla sledována

stabilita měření nulové hodnoty rychlosti. Měřidla se se stavem nepohybujících se částic v proudu kapaliny vyrovnala relativně dobře tak, že vykazovala hodnoty okolo nulové rychlosti. Měřidlo FlowTracker2 však upozorňovalo na řadu chyb. NivuFlow Stick během jednotlivých měření vykazoval velmi nízkou odrazivost reprezentovanou Quality Trigger min výrazně pod hodnotou 5 %. Pro praktická měření je však znalost tohoto fenoménu nepodstatná. Měření v takových podmínkách bude vždy vykazovat extrémní hodnotu celkové nejistoty měřené rychlosti, resp. celkového stanoveného průtoku.

Zaměřili jsme se proto na sledování dlouhodobé stability při velmi nízkých rychlostech okolo $0,025 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V **grafu 7** je zobrazen časový vývoj vykazované hodnoty rychlosti pro všechna čtyři měřidla při minimální řídicí frekvenci čerpadla zkušební trati odpovídající hodnotě 1,1 Hz. Aby bylo možné provádět i vzájemné porovnání mezi jednotlivými měřidly, jsou prezentované hodnoty vztaheny vždy k prvnímu provedenému měření daným měřidlem.

Z časového průběhu vykazovaných hodnot je patrné, že stabilita rychlostí pro všechna posuzovaná měřidla je velmi dobrá. Za několik málo měsíců došlo ke změnám v řádu $\pm 2 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ s tím, že v některých případech byla tato hranice ojediněle překročena. Se zjednodušujícím přihlédnutím k tomu, že deklarovaná přesnost měřidla FlowTracker2 se pohybuje na úrovni $\pm 2,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, resp. $\pm 5,0 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ pro NivuFlow Stick, jsou výsledky velmi dobré. V případě měřidla FlowTracker2 (ČHMÚ_2) došlo k jednomu ojedinělému poklesu měřené rychlosti při předposledním měřicím cyklu.

Součástí grafického vyjádření jsou i chybové úsečky, vystihující míru variability nízkých rychlostí, vykazovaných směrodatnou odchylkou stanovenou z 10 měření. Jak bylo konstatováno v předchozí kapitole, jsou tyto hodnoty v čase zpravidla neměnné a relativně malé. Výjimku tvoří měřidlo FlowTracker2 (ČHMÚ_2), které za velmi nízkých rychlostí vykazuje vyšší hodnoty rozptylu opakovaně měřených hodnot.



Graf 7: Stabilita hodnot nízkých rychlostí vykazovaných měřidly v čase

Vyšších hodnot bylo taktéž dosaženo v případě FlowTracker2 (ČHMÚ_3) u posledních dvou měřicích cyklů. Dle analýz s největší pravděpodobností došlo k selhání jednoho ze snímačů měřidla. Tento stav je měřidlem signalizován upozorněním, že hodnota SNR z obou snímačů je značně rozdílná. Z konkrétních hodnot je zřejmé, že síla zpracovávaného signálu je výrazně nízká. Zajímavé v této souvislosti je, že i přes zjevné selhání měřidlo vykazuje správnou hodnotu takto nízké měřené rychlosti. Tato skutečnost je z **grafu 7** zřejmá. Kolegům z ČHMÚ bylo doporučeno příslušné měřidlo vyřadit z pravidelného užívání, resp. zajistit jeho opravu u výrobce.

6. Shrnutí výsledků v dalších řešených oblastech úkolů PRM

V kapitole 4 jsme uvedli, že jsme se v rámci obou úkolů PRM věnovali i dalším tématům souvisejícím s měřidly předmětného typu. Jednalo se posouzení vykazované rychlosti UZV měřidly za podmínek nadkritického proudění, posouzení přesnosti měření (stanovení nejistoty bodové a svislicové rychlosti) v poměrech simulujících podmínky reálných měrných profilů, vyhodnocení výsledků opakovaných kalibrací měřidel v akreditované kalibrační laboratoři či posouzení chování měřidel při použití v reálných podmínkách při průtoku odpadních vod.

V následujících odstavcích daná témata stručně shrneme. V kapitole 6.1 uvedeme i shrnutí výsledků experimentálních zkoušek metrologických charakteristik, popsanych v předchozích kapitolách.

6.1 Shrnutí výsledků vybraných metrologických charakteristik

Mezilehlá preciznost (představovaná nejistotou p_{AC}) měřených rychlostí vykazovaných předmětnými měřidly je nižší, než je používána standardně pro vodoměrné vrtule či EMI měřidla. Při rychlostech do $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jsou hodnoty v porovnání s hodnotami uváděnými

v ČSN EN ISO 748 [1] cca o polovinu nižší. Z tohoto pohledu lze očekávat vyšší těsnost shody mezi dlouhodobě prováděnými měřeními. I při vyšších rychlostech se hodnoty replikovatelnosti drží pod specifiky užívanými pro vodoměrné vrtule či EMI měřidla.

Variabilita měřených rychlostí vykazovaných předmětných měřidel je při stejném množství částic v čase prakticky neměnná.

Ukazuje se, že po přidání odrazných částic do vodního prostoru zkušební trati se zlepšila kvalita měření, mírně se snížila variabilita (zvýšila se preciznost měření) při zachování správnosti měření. Tato zjištění platí pro oba typy posuzovaných měřidel.

U měřidla NivuFlow Stick byl v dosahovaných výsledcích okolo rychlostí

1,0 m.s⁻¹ zjištěn náhlý pokles variability. Důvody této dislokace nám nejsou známe, na správnost měřené rychlosti však tato skutečnost nemá dopad.

Stabilita nízkých rychlostí ve sledovaném období pro všechna měřidla byla velmi dobrá, a pokud nedojde ke ztrátě jejich měřicí schopnosti, lze předpokládat, že zůstane dlouhodobě zachována.

Oba typy posuzovaných měřidel vykazují v oblasti nízkých rychlostí shodně lepší metrologické vlastnosti než vodoměrná vrtule či EMI měřidla. V tomto případě je přínos UZV měřidel jednoznačně kladný.

Míra nabití akumulátorových článků, resp. jejich výměna či dobití, nemají podle našich zjištění vliv na hodnoty následně měřených parametrů.

Z pohledu metrologických charakteristik sledujeme obě měřidla pracující na UZV principu jako vhodná pro měření bodové a svislicové rychlosti pro potřeby subjektů autorizovaných pro úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou.

Délka doporučeného recalibračního intervalu pro UZV měřidla je navrhována dva roky. Tato doba je shodná s dobou, jež je uvedena v MP 010 [5] při měření bodových rychlostí proudu za pomoci vodoměrných vrtulí a EMI měřidel.

6.2 Shrnutí výsledků v oblasti stanovení nejistoty měření bodové a svislicové rychlosti proudu

V laboratorních podmínkách s kalibrovanými průtokovými poměry, jež byly současně navázány i na *in situ* vyskytující se intenzity turbulence proudu, jsme provedli rozsáhlé experimentální práce zaměřené na stanovení nejistoty vykazovaných rychlostí. Tyto práce byly realizovány s oběma typy UZV měřidel a jednou vodoměrnou vrtulí.

Intenzity turbulence proudu, které byly zaznamenány v minulosti na řadě míst v reálných kanalizačních tratích, se podařilo úspěšně „přenést“ do podmínek hydraulické laboratoře. Nastavení těchto poměrů tak zaručilo, že výsledky, které jsme obdrželi při současných experimentálních pracích, bude možné shodně aplikovat v metrologickém předpisu MP 010 [5].

Ukázalo se, že nejistoty měřené bodové rychlosti proudu stanovené vodoměrnou vrtulí za nízké intenzity turbulence proudu jsou v praktické shodě s daty, jež byla získána analýzou výsledků provedených s oběma typy UZV měřidel.

V případě měření za podmínek střední intenzity turbulence proudu je úroveň nejistoty indikovaná měřidlem FlowTracker2 velmi podobná tomu, co lze očekávat od vodoměrné vrtule. Vzájemné rozdíly nejistot měření mezi těmito dvěma měřidly za vyšších rychlostí dosahují jednotky procent.

U měřidla NivuFlow Stick jsou za středních intenzit turbulence rozdíly oproti ostatním měřidlům v dosažených hodnotách nejistot významnější. Pro zachování velikosti nejistoty ve stanovení bodové rychlosti srovnatelné s vodoměrnými vrtulami či měřidlem FlowTracker2 je nutné realizovat měření bodových rychlostí v minimálně čtyřech měřicích oknech. Odpovídající hloubka proudu musí dosahovat minimálně 100 mm.

Z experimentálních zkoušek vyplynula velmi dobrá shoda mezi absolutními rychlostmi stanovenými jednotlivými měřidly.

Na základě provedených experimentálních zkoušek v oblasti stanovení nejistoty bodové, resp. svislicové rychlosti je možné získané výsledky převzít do metrologického předpisu MP 010 [5]. Při měření s oběma měřidly je doporučitelné nesnižovat dobu měření v bodě, resp. na svislici pod 30 s.

6.3 Shrnutí výsledků zkoušek měřidel v podmínkách nadkritického proudění

Měření byla provedena v rozsahu hloubek proudu v intervalu (50–130) mm při rychlostech od 1,3 m.s⁻¹ do 3,4 m.s⁻¹. Hodnota Froudova kritéria se v těchto poměrech pohybovala v rozsahu od 1,3 do 4,0.

Rychlosti vykazované všemi posuzovanými měřidly byly vztaženy na údaje, které byly zjištěny vodoměrnou vrtulí s propelerem č. 6 o průměru 30 mm. Tyto rychlosti byly kontrolovány pomocí bezkontaktní optoelektronické anemometrie metodou LDA.

Při použití UZV měřidel není minimální hloubka proudu normou ČSN EN ISO 748 [1] definována. Z principu je však jasné, že ADV přístroje lze použít ve výrazně mělkých vodách v případě, že vysílač i všechny snímače jsou zcela ponořeny pod vodou a pozice měrného objemu taktéž. Prakticky lze tak u FlowTracker2 pracovat s pozicí snímače a vysílačů v odlehlosti cca 22 mm ode dna. S 2D verzí snímače dojde k bezpečnému zatopení všech aktivních částí již při hloubce proudu okolo 40 mm.

U verze 3D snímače, kterou jsme měli trvale k dispozici, docházelo při nízkých hloubkách k vynoření svislého snímače. Minimální hloubka proudu, bezpečně zaručující celkové ponoření všech aktivních částí měřidla, odpovídá 100 mm.

U měřidla FlowTracker2, byť vykazuje hodnoty blízké skutečným rychlostem, je SW jednotky zobrazována celá řada varovných hlášení indikujících narušení integrity měřicího procesu. Měřidlo s 3D snímačem není do podmínek nadkritického proudu s nízkými hloubkami vhodné.

V případě AECV měřidla reprezentovaného NivuFlow Stick, je třeba zajistit jeho dostatečné ponoření do hloubek vyšších, než je mrtvé pásmo rychlostního snímače. Z provedených zkoušek vyplývá, že v případě hloubek od 100 mm lze považovat výsledky za korektní. Současně je třeba při vyhodnocení průtoku vzít v úvahu dopad změny hloubky proudu vložím snímače měřidla do nadkritického proudu.

Na základě provedených experimentálních zkoušek v podmínkách nadkritického proudění s velmi malou hloubkou proudu nelze měřidlo FlowTracker2 (3D verze snímače) doporučit pro úřední měření. Měřidlo NivuFlow Stick je pro úřední měření v podmínkách nadkritického proudění použitelné od hloubek proudu větších než 100 mm.

6.4 Shrnutí zkoušek měřidel v podmínkách měrného profilu protékaného odpadní vodou

Byla provedena měření na vybraných svislicích pomocí čtyř typů měřidel. Vedle posuzovaných UZV měřidel jsme pro praktické srovnání použili i EMI měřidlo a vodoměrnou vrtuli.

Měřidla byla vzájemně porovnána z hlediska konstrukčního a z hlediska získaných výsledků.

Z pohledu upevnění měřidel na soutyči lze nejlépe hodnotit to nejjednodušší používané pro vodoměrné vrtule C-2, případně pro EMI měřidlo – tedy MF Pro. Z hlediska konstrukčního uspořádání se jako komplikované jeví pozice a velikost převodníku na mohutném nosníku měřidla NivuFlow Stick. U měřidla FlowTracker2 platí, že typ soutyčí v prostředí odpadních vod je výrazným lapačem nečistot.

Z hlediska uzpůsobení snímačů se v podmínkách s odpadními vodami nejlépe jeví EMI měřidlo MF Pro, případně měřidlo NivuFlow Stick. Vodoměrná vrtule je použitelná vždy, jen je třeba provádět kontrolu správného volného otáčení propeleru. Jako nevyhovující se jeví konstrukce snímače (vysílač s přijímači) měřidla FlowTracker2, na kterou se neustále zachycují prakticky všechny nečistoty z odpadní vody. Díky tomu bude vždy existovat pochybnost o stanovené rychlosti.

Pro měření v surových splaškových odpadních vodách nelze měřidlo FlowTracker2 doporučit. Měřidlo NivuFlow Stick je pro měření v podmínkách surových splaškových odpadních vod v prizmatických korytech s různým tvarem průtočného průřezu vhodné.

Nevýhodou obou měřidel pro měření ve stokových sítích může být jejich konstrukční uspořádání.

6.5 Metrologická návaznost posuzovaných měřidel

Během zpracování obou úkolů PRM byla obě měřidla podrobena kalibraci v bratislavské akreditované kalibrační laboratoři (AKL) vodoměrných přístrojů.

Z analýz výsledků se ukázalo, že pro obě měřidla jsou naše i v AKL stanovené metriky v mezích definovaných pro reprodukovatelnost výsledků individuální kalibrace vodoměrných vrtulí podle ČSN EN ISO 748 [1].

Dokud nebudou měřidla ve větší míře v rámci měření průtoku v profilech s volnou hladinou používána, platí, že je při kalibraci v AKL nutná aktivní asistence uživatele měřidla, který zajistí jejich obsluhu. Není to však podmínka nutná, kalibraci v AKL lze realizovat i bez pomoci uživatele.

Ani jedno z předmětných měřidel, pokud je nám známo, neumožňuje vhodným a rychlým způsobem do svých SW (vyhodnocovací jednotky nebo webového rozhraní) zavést korekce zjištěné při kalibraci. Pro obě měřidla platí, že pokud budou použita pro konečné stanovení průtoku metodou rychlostního pole tak, jak jsou na trhu nabízena a jak jsou používána, požadované korekce na systematické vlivy zjištěné při kalibraci nebudou do výsledků zahrnuty. Výsledek průtoku získaný přímo na displeji vyhodnocovací jednotky nebo webového rozhraní bude hodnotou z tohoto pohledu nekorigovanou. Zavedení korekcí u obou měřidel je však možné.

V případě měřidla FlowTracker2 je možné korekční faktor rychlosti editovat v rámci postprocesingu v programu FLOWTRACKER2.

U měřidla NivuFlow Stick je z hlediska běžného uživatele nemožné příslušnou korekci při měření celkového průtoku zavést. Nabízí se tak do uživatelské nabídky SW měřidla přidat možnost korekce měřené rychlosti. S největší pravděpodobností v servisním režimu jistá možnost korekce měřené

rychlosti existuje, pro běžného uživatele je však nedostupná.

Metrologická návaznost obou měřidel je realizovatelná ve všech kalibračních laboratořích vodoměrných přístrojů. Ani jedno z UZV měřidel neumožňuje jednoduchým způsobem vložit výsledky kalibrace do SW vyhodnocovací jednotky nebo webového rozhraní. Zavedení korekcí u obou měřidel je však několika způsoby realizovatelné.

7. Závěr

Příspěvek prezentuje výsledky teoretických a experimentálních prací provedených během let 2023 a 2024 v rámci úkolů Plánu rozvoje metrologie s celkem čtyřmi zapůjčenými UZV měřidly bodové, resp. svislicové rychlosti vodního proudu.

V rámci prováděných experimentů byla předmětná měřidla v pravidelných intervalech podrobena testům ve zkušební trati naší laboratoře. Posouzení způsobilosti měřidel bylo realizováno taktéž v hydraulických žlabech laboratoře a *in situ* v měrném profilu s volnou hladinou protékaném odpadní vodou na ČOV Brno-Modřice.

Tento článek se zaměřil především na výsledky získané v oblasti zhodnocení vybraných metrologických parametrů předmětných měřidel. Současně jsme stručně shrnuli i výsledky ostatních námi řešených experimentálních zkoušek. Zde jsme se zaměřili na chování měřidel v podmínkách nadkritického proudění. Měřidla byla podrobena i testům v podmínkách simulované turbulence. Testovali jsme měřidla v podmínkách reálné trati s odpadní vodou. Podrobili jsme měřidla opakovaně metrologické návaznosti v akreditované kalibrační laboratoři vodoměrných přístrojů v Bratislavě.

Výsledky získané v rámci řešení obou úkolů PRM v letech 2023 a 2024 již byly odpovídajícím způsobem zapracovány do MP 010 [5] (verze březen 2025). Subjektům autorizovaným pro úřední měření v profilech s volnou hladinou tak umožňují provádět měření oběma typy UZV měřidel.

Poděkování

Děkujeme všem partnerům, kteří nám zapůjčili svá měřidla, *pracovníkům ÚNMZ, ČMI, oponentům úkolů Plánu rozvoje metrologie a zástupcům dodavatelů měřidel.*

8. Použitá literatura

- [1] ČSN EN ISO 748. Hydrometrie – Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole s použitím bodových měření. 2001, 2008, 2022, 2023
- [2] ČSN ISO 3455. Hydrometrie – Kalibrace měřidel rychlosti proudění vody v přímých otevřených nádržích, 2023
- [3] Zubík, P., Žoužela, M.: Vliv extrémních teplot na vykazovanou rychlost kapaliny měřenou vodoměrnou vrtulí. Program rozvoje metrologie 2009 Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, Brno 2009
- [4] Ďado, S., Bejček, L., Platil, A. Měření průtoku a výšky hladiny, BEN – technická literatura, ISBN 80-7300-156-X, Praha 2005

- [5] Metrologický předpis MP 010 – Úřední měření průtoku vody v profilech s volnou hladinou. Postup pro provádění úředního měření metodou rychlostního pole, objemovou metodou, vážicí metodou, přenosnou měřicí sestavou s průtokoměrem, měrnými přelivy a žlaby. Český metrologický institut, Brno 03/2025
- [6] Zubík, P.: Problematika návaznosti kalibrace vodoměrných vrtulí na etalon rychlosti přes laserový dopplerovský anemometr. Výzkumná zpráva. LVV – FAST – VUT v Brně, 2003
- [7] Němeček, P. Nejistoty měření. Praha: Česká společnost pro jakost, o. s., 2008
- [8] FlowTracker2. User's manual. SonTek. ver. 1.7. 11/2019
- [9] NivuFlow Stick. Instruction manual. NIVUS. ver. 02. 02/2022
- [10] Žoužela, M., Zubík, P., Březina, J., Vítů, M.: Měření bodové rychlosti vodního proudu s využitím elektromagnetických indukčních měřidel. Vodní hospodářství, 11/2021, ISSN 1211-0760, str. 8 – 16, Praha 2021
- [11] Žoužela, M., Zubík, P., Khainová, R., Orság, P.: Posouzení použitelnosti měřidel využívajících ultrazvukový princip pro měření rychlosti vodního proudu. Program rozvoje metrologie 2023 Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, 2023
- [12] Žoužela, M., Zubík, P., Khainová, R., Orság, P., Vachta, V.: Přenosná měřidla využívající ultrazvukový princip měření bodové a svislicové rychlosti vodního proudu. Program rozvoje metrologie 2024 Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, 2024
- [13] ISO 15769:2010(E) Hydrometry – Guidelines for the application of acoustic velocity meters using the Doppler and echo correlation methods, 2010



Designové prvky plakátu WMD 2025



Toto unikátní vydání plakátu k 150. výročí prominentně zobrazuje **historickou pečeť BIPM** v pozadí, což je vizuální připomínka původu Metrické konvence a trvalého odkazu BIPM.

V popředí je na druhé medaili znázorněna **trvalá relevance organizace** a její oddanost jejímu poslání:

Sedm koulí/planet představuje univerzálnost Mezinárodní soustavy jednotek (SI) a symbolizuje propojenost vědeckých měření po celém světě. Samotné čáry představují vzájemnou závislost základních jednotek.

Písmena uvnitř planet představují sedm základních jednotek SI: metr (délka), sekunda (čas), kilogram (hmotnost), mol (množství látky), kandela (svítivost), kelvin (teplota) a ampér (elektrický proud).

Hvězdy symbolizují osvětlení, světlo a příslib budoucích vědeckých objevů.

Vnitřní luneta obsahující 60 čar symbolizuje sekundy a čas.

Vnější rámeček s 360° čarami symbolizuje polohu. **Římské číslice na medaili** představují rok 1875 (MDCCCLXXV), rok podpisu Metrické úmluvy, která označila založení BIPM jako mezinárodní organizace zabývající se standardizací měření po celém světě.

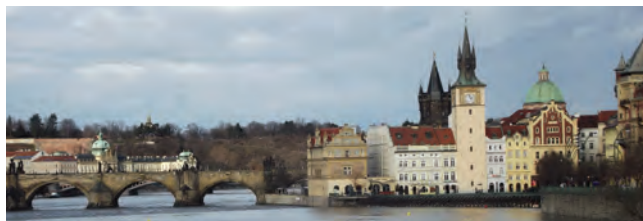
Paprskovité čáry, které se vějířovitě rozprostírají ze středu plakátu, představují neustále se rozšiřující horizonty metrologie ve vesmíru, vědě a inovacích.

PLÁN AKCÍ ČMS NA II. POLOLETÍ ROK 2025



Česká metrologická společnost, z.s.
Zakládající člen Českého svazu
vědeckotechnických společností

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1
tel.: 221 082 254, 606 957 233
e-mail: cms-zk@csvts.cz
www.spolky-csvts.cz/cms



Datum a místo konání	Kód akce	Název akce
29. září 2025 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, učebna č. 315	K 628-25	Měření vnitřního denního osvětlení
10. listopad 2025 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, učebna č. 315	K 629-25	Měření venkovního elektrického osvětlení

Datum a místo konání	Kód akce	Název akce
24. listopad 2025 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, učebna č. 315	K 636-25	Měření elektrických veličin <i>s praktickými ukázkami kalibrace vybraných měřidel</i>
Trvalá nabídka	K 90	Korespondenční kurz metrologie

Nabídka akcí bude průběžně aktualizována. Aktuální nabídka včetně termínů konání a přihlášek ke stažení bude uvedena na:
<https://www.spolky-csvts.cz/cms/kalendar-akci-cms>

Pokud máte zájem o aktuální informace a o termínech pořádaných akcí, registrujte se na:
<https://www.spolky-csvts.cz/cms/content/registrace>

Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně); Mgr. Kristýna Vančurová (místopředsedkyně); Mgr. Petr Barták; Ing. Miroslav Čermák; Mgr. Václava Holušová; doc. Ing. Jiří Horský, CSc.; Ing. Jiří Kazda; Ing. Pavel Nosek; RNDr. Klára Popadičová; Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.; doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.; Ing. Jakub Svatoš, Ph.D.; doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D.; Ing. Josef Vojtíšek.

Prizvání: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor.

Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč + poštovné a balné + 12 % 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: červen 2025. Nakladatelský servis, předplatné a inzerce: PhDr. Bořivoj Kleník, Bezdědice 19, 294 25 Katusice, mobil: 603 846 527, e-mail: klenik@q-art.cz. Nevyžádané materiály se nevracejí. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Foto na obálce:

Světový den metrologie 2025

Photo on the front page:

World Metrology Day 2025

